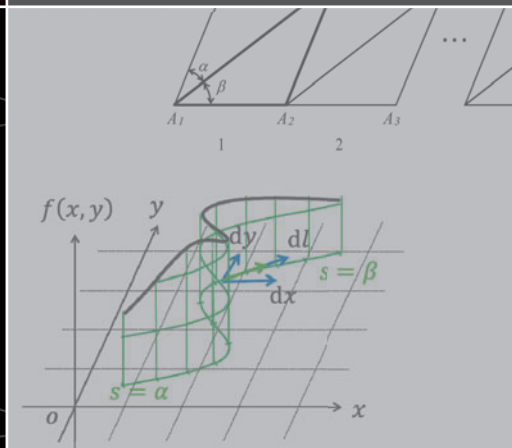
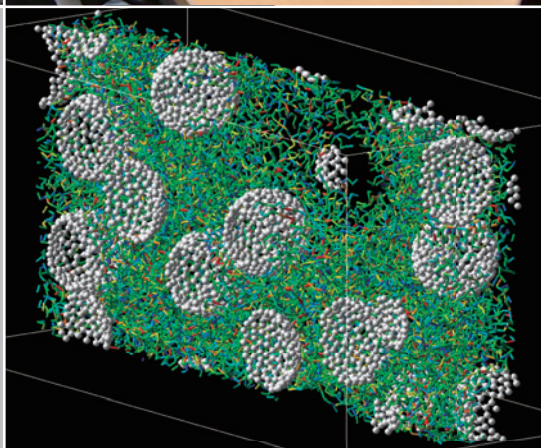
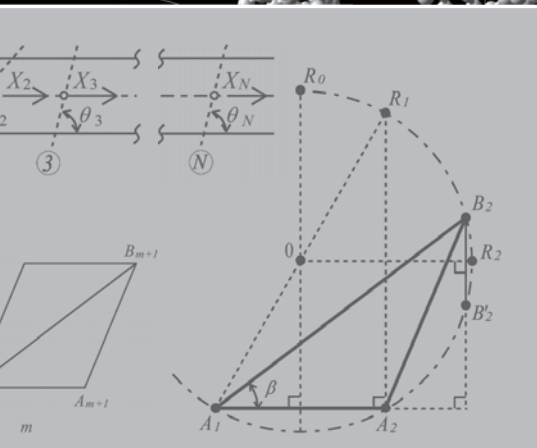
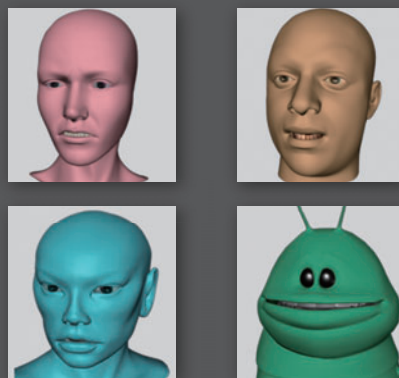
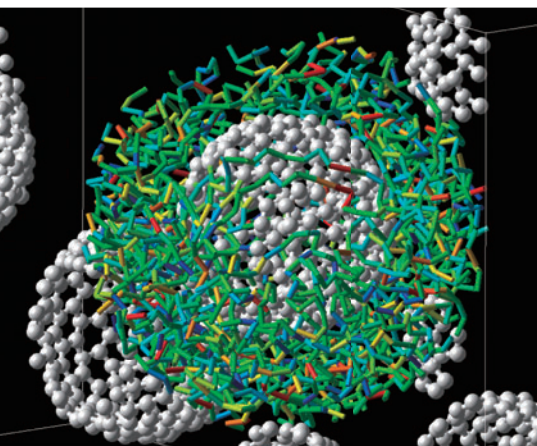


CYBERNET NEWS 2012 WINTER

つくる情熱を、支える情熱。
CYBERNET



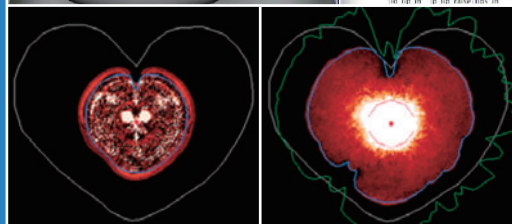
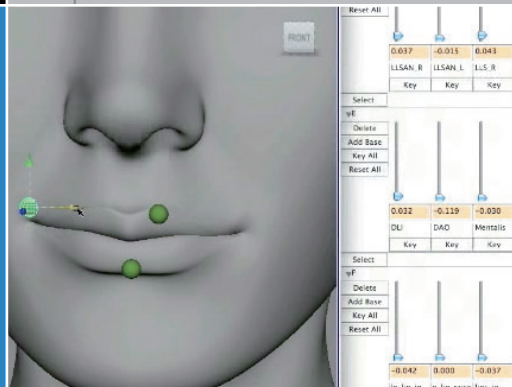
特集 これからの産業社会と数学

原辰次先生 (東京大学) / 穴井宏和氏 (富士通研究所) 対談

「計算科学の新たな展開による 制御システム設計で、 現代社会の課題を解決」

記事 折紙工学の数理と産業への応用
自動車開発での数学と物理の役割
符号理論の背後にある数学

CAE エンバーシティ | 数学と産業技術、そして科学計算
「CAEエンジニアのための数学入門」講座を担当して



特集に寄せて

特集：これからの産業社会と数学



CTO 石塚 真一

数式 = / ≠ 自然界

「数学を利用すると手を抜くことができる」。つまり、面倒な実験や試作をしなくても未知のことが確かめられる。一見、乱暴な言い方です。が、これが事実だとしたら、皆さんもっと数学をありがたく思うのではないのでしょうか。そして、「数学で手抜きができる」というのは、ある意味、事実だと思います。

物理の時間にあまりにも有名なニュートンの運動の法則「 $F=ma$ 」を習ったとき、不思議でなりません。力 F は質量 m と加速度 a の積となる。簡単な掛け算ですが、「なんでそうなるの?」と思いました。この関係を、純粹に理論的に導くのは実は容易なことではなく、ニュートンの場合は実験や観測から導いたとされていますが、何故、自然界の現象がそれとはまったく関係無いところで考え出された人工的な数学の規則に従うのか?それが不思議でならなかったのです。その後、いろいろな物理法則や工学の理論式を学ぶたび、その疑問はますます大きくなっていきました。「何故、自然界の現象を人工的な数式で表すことができるのか?」。長い間悩まされてきたこの問題も、私なりに答を見つけることができたように、最近は感じています。

思えばその答は、小学校の算数にすでにあったのだと思います。小学校低学年の算数問題、「リンゴ5個とミカン3個があります。合わせていくつでしょう?」。多くの生徒が何の疑問も無く8個と答えるでしょう。私もそうでした。でも、今、考えたらおかしな話で、リンゴとミカンがそもそも足せる訳はありません。エッ!と思うかもしれませんが、問題を少し変えて「リンゴ5個とロケット3機があります。合わせていくつでしょう?」。こうなるとかなり違和感がありますよね。それは通常の世界でリンゴとロケットを足すことは、ほぼ無いからです。でも、それはリンゴとミカンでも実は同じことで、た

だ、リンゴやミカンの「数」という性質に注目したとき初めて、両者を足すことができるのです。ニュートンの運動の法則も、その質量や加速度という性質に注目してその関係を結びつけている。だから、数式で表現できるのだ。と気付いたのはかなりの年月が経ってからでした。

数学は性質が保存される

数学は非常に厳密です。厳密であるが故に、前に進むのに苦労する場合も多々あるかと思われます。数学は紀元前から存在しますので数千年の歴史があります。その長い間に公理と呼ばれるシンプルないくつかの約束事を基に、さまざまな定理やそれを証明するための予備的問題(補題)などが積み重ねられて発展してきています。そして、定理は決して公理を破ることなく、また、新たに生まれた定理は、それ以前に確立された定理を決して覆すことなく体系立てられています。これはつまり、数式の持つ性質が保存されているということです。これは非常にありがたいことで、自然界の現象や工学的問題の性質を一度数式で表現できれば、後は数学の世界だけで答を導き出せる。ニュートンの運動の法則で言えば、質量 m と加速度 a がわかれば、そこに働きかけている力 F を測定しなくても、計算すればわかるということです。

この最たるものが理論物理学でしょう。宇宙の構造は多分これから先も、決して「目で見える」ことはできないでしょう。しかし、数式で表すことにより、「心(頭)の目で見える」ことができます。もちろん、性質を読み違えたら誤った答えになります。現にニュートン力学は、粒子の世界ではズレが生じることがわかり、その後の量子力学へと発展しています。このように数式から物ごとの理解が生まれる、ということは「数学を利用すると手を抜くことができる」とも言えるかと思うのです。

今回は、システム・制御系、構造系、そして自動車業界と、それぞれの第一線で活躍する方々に、数学の持つ可能性や有効性、また、数学に対する思いをそれぞれの立場から解説していただきました。数学の持つ表現力を改めて感じていただくと幸いに思います。

Contents

■ 特集 これからの産業社会と数学

- 2 | ◆特集に寄せて
 - ◆計算科学の新たな展開による制御システム設計で、現代社会の課題を解決
- 3 | 東京大学情報理工学系研究科 教授 原 辰次 先生
株式会社 富士通研究所 主任研究員 穴井 宏和 氏
- 8 | ◆折紙工学の数理と産業への応用
東京工業大学大学院 理工学研究科 機械物理工学専攻 教授 萩原 一郎

■ 報告

- 11 | ◆Mathematics for Industry シンポジウム開催報告

■ 特集 これからの産業社会と数学

- 12 | ◆自動車開発での数学と物理の役割
トヨタ自動車株式会社 理事 大畠 明
- 14 | ◆符号理論の背後にある数学
サイバネットシステム株式会社 CTO 石塚 真一

■ 開発元のある風景

- 16 | ◆ANSYS 社の本拠地、米国ペンシルバニア州から
メカニカル CAE 事業部 副事業部長 徳永 祐一

■ CAE ユニバーシティ

- 18 | ◆数学と産業技術、そして科学計算
九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 所長 若山 正人
- 20 | ◆「CAE エンジニアのための数学入門」講座を担当して
岐阜大学 工学部 数理デザイン工学科 准教授 永井 学志

■ 「見える化」技術

- 22 | ◆CG を豊かにする数学
株式会社 オー・エル・エム・デジタル 研究開発部門
ビジュアルエフェクト/R&D スーパーバイザー 安生 健一 氏 訪問

■ 製品情報

- 24 | ◆企業の未来を切り開くイノベーション支援ツール
『Invention Machine Goldfire』
- 25 | ◆数学的ものづくりのための Maplesoft 製品群
- 26 | ◆AVS/Express パージョン 8 (国内開発) リリース
- 27 | ◆「サイバネットクラウドサービス」の提供開始
◆CAE ユニバーシティ e ラーニングお試しサイト開設 (無料)

計算科学の新たな展開による制御システム設計で、現代社会の課題を解決

特集：これからの産業社会と数学



右：原辰次先生／左：穴井宏和氏

今号では、**数学と産業社会との関わりを考えてみよう**ということで、**数学に焦点を当てた特集を組んでみました**。巻頭はいつもはインタビューのコーナーなのですが、今回はせっかくの機会なので、工学の中でも特に**数学と関係の深い制御**をご専門とされる**原辰次先生**と、**会社の中の数学者として数学知識を実践に活かしておられる穴井宏和氏**の対談を企画いたしました。

お二人には普段感じておられることを忌憚無く話していただきましたが、さて、皆さんの会社や周囲では「**数学**」はどんなイメージを持たれていますか？**ご自分の経験などと照らし合わせて読んでいただくと嬉しく思います**。

なぜ、数学は敬遠されるのか？

石塚：今回の特集は、**数学と今の産業社会を巡る問題**を考えてみようという観点からのものなのですが、実際の私の感触では、**数学と社会の間には相当高い壁**があります。たとえば、最近でもある集まりで**技術者の方に微分幾何の話**をしたんです。そうしたら、**数学の話は企業には敷居が高い**ですよ。と、言われました。しかも、**その方の会社は技術志向の会社**なんですよ。この会社にしてそうなのかという気が改めてまして…。**理系に進む人たちでもともと数学好き**とっていたのですが、**現実**はそうではないのかな、と。相当に**技術志向の会社でも、「数学は敷居が高い」と**言われてしまう状況がある。**数学は社会の役に立つんだ**という方向に人々の意識を変えていくには、**どうしたらいい**でしょう。

原：制御も「**難しい**」とよく言われますね。「**だって、数式が出てくるし**」と。エンジニアだけでなく、**工学の他分野の研究者にも制御は難しい**と言われます。それは、単に**数学が難しい**のではなく、**制御の概念とそれを記述する数学的なものが併せて難しい**のかなという気がしています。ちょっと**計算機を走らせるだけでは理解**できない。今は、この「**ちょっと計算機を走らせて**わかりたい」という**欲求が強い**ですよ。しかし、これは危

原辰次先生 穴井宏和氏 対談（司会：石塚 真一）

Sinji Hara

1976年東京工業大学大学院工学系研究科修士課程修了。
日本電信電話公社、長岡技術科学大学を経て、1984年東京工業大学工学部助教授、1992年同大学総合理工学研究科教授。
2002年東京大学情報理工学系研究科教授。
ロバスト制御、制御系統化設計、大規模系の分散協調制御、グローバル制御、量子制御、生物制御、計算機援用設計などの研究に従事。工学博士。2006年George S. Axelby Outstanding Paper Award受賞。計測自動制御学会/IEEE/IFACフェロー。
SICE会長(2009年)、IEEE CSS Vice-President(2009-2010年)、IFAC Council Member(2011年-)。

Hirokazu Anai

1991年4月(株)富士通研究所 情報社会科学研究所 入社。
1999年10月 ドイツ パッサウ大学 数学情報学部(代数) 客員研究員(1年間)
2003年10月 科学技術振興機構 CREST 研究代表者(5年間)
現在、(株)富士通研究所 主任研究員。
2008年4月より九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 教授(兼任)

険です。根本部分の把握が弱くなるために、却って**全体の理解に時間がかかる**ことにもなりかねません。本質的な部分をきちんと理解していないと**理論と実際のギャップが大きくなります**。

そして、**どんな理論も現実とのギャップがあり理論と実際の橋渡しが必要**となるわけですが、**これがある意味では計算**です。理論的に展開されたものが**実世界で使われるためには何らかの計算が**できなければならない。計算を通じて**理論と実世界がきちんと結ばれる**ような枠組みが作れば、**一般の人にも理解**しやすいかもしれませんね。一般の人は**数式を見て理解**するのはバリアーが高いでしょうが、**計算機を弄るのは比較的ラク**でしょう。



穴井：私の会社でも、何かの理論や概念を**数式で説明**するとすぐ**嫌がられます**。シミュレーションツールみたいなもので**ちょこちょこ**とやって結果が見られるという状況でないと、**なかなか新しいものを受け入れて**くれないですね。

石塚：しかし、**ツールでできるようになったのは最近**なのに、**ツールをあまり経験**していない年配の人でも**数式嫌い**は多い。この「**数式嫌い**」というの**はいつから始まる**んでしょう？

原：我々が学生の頃は計算機もパワーが無かったから、シミュレーションでの検証は大変でした。とすると、式を展開して考えていくということが重要になりますよね。今は、計算機にパワーがあるため、シミュレーションに過度にシフトしていると思う。シミュレーションを沢山やったところで、それはデータが集積するだけ。本当に必要なのはそのデータの意味を読み取ることで、問題が複雑になればなるほどその意味の読み取りは難しい。物事や現象の根本的理解が必要となってきます。つまり、ツールとしての計算機/シミュレーションと、現象や物事の理解/解析/設計までをどう繋ぐか。それが、今一番求められていることではないかと思えます。

穴井：全く同感です。私たちは、まあ、社内数学者といった立場にいたのですが、社内での数学的な事柄を説明するとき、なるべく直感的にわかる説明、つまり、「こうすれば良くなるよ」という効果を中心にした説明をするようになってしまっています。数学的なアルゴリズムは…とか言ってもわかってもらえないし、そんなことは必要とされていない。しかし、そこまで妥協してもなお、最後は、何かちょちょっとやれるツールは無いのか、みたいな話になる。エンジニアの数学的能力や思考力の底上げをするのが、難しい状況になっている気がします。



シミュレーションをうまく使うためには

石塚：計算機の無かった頃は、物事の本質を見つけてそれを抽象化し大まかに捉えたうえで、それを解くための数学を一生懸命勉強しなければ、問題は解けなかった。今は、シミュレーションすればできてしまう。それが数学的にものを考える力を落としている気がしますよね。もちろん、シミュレーションは役に立つんですが。

穴井：たとえば、シミュレーションをすごく使っている人と話をしている、中のモデル式ですね、回路解析だったら回路の式。それを見たいと言うと、そのツールで見られるかどうか知らないことが多いのです。式を見たことも無く、ただシミュレーションの結果だけを見て最適化や設計をしようとしている。根本に立ち返るということをしないう傾向が強くなったと感じます。そこをなんとかしたいのですが、何を説明しようとしても数式では済まなくて、話を簡単にしないと食いついてくれない。

原：今は最後にシミュレーションという手段がある。それはいいのですが、問題はそれを活かすのではなく、頼り

すぎていることです。シミュレーションと人間の思考やディスカッションをどう組み合わせるのか。その態勢をきちんと議論して作っていくべきだと思います。同様に、数値計算と数式処理を融合する枠組みとは何か？というようなことを考える学問も進んで行けば、なおいいですね。制御理論の発展というのは、その時代に使える計算機の技術と密接に関係しています。古典制御の時代は計算機が無かったから人間のできる範囲でしか制御理論が無い。四則演算や図を描くといったことです。最初の安定解析は人間にわかる図で理解していた。ところが、今は計算機というものがあって、そのパワーもどんどん大きくなっている。現代の制御はその現代計算機のパワーに合致したものが成り立つわけです。数式処理についても、30年くらい前には原理的にはできるけど実用までは到達しなかったわけですが、QE^{注1)} (Quantifier Elimination; 限定子消去法。以下、QE) が出てきて実用に使える目処が出てきた。QEの考え方は、パラメトリックに何かを扱える^{注2)}ということなので、これはほとんどの制御で使える可能性があります。つまり、制御理論を本当に実システムに使うには、計算手法や計算機環境の問題が大きい。しかし、その根本にある理論というのが、本当は一番大事です。

石塚：制御理論は、エネルギーとか物理法則がベースではなく、ある種、情報をやり取りする世界なので、そこが一般にはわかりにくいかもしれないですね。そして、制御対象は「物」なので物理的なものも関係してきて、理論と実際の両方を考えなければならない。しかし、だからこそ、制御理論は技術開発には大切なものだと思うんです。実世界と理論を結びつける重要な役割を果たしている。

原：制御の概念と考え方はいろいろなところに役立つと思います。制御の概念で重要なのはフィードバック。結果を戻すということ。そこに、必然的に遅れ(ディレイ)が生じる。このディレイをうまく捉えられないと、望みの結果が得られない。そして、どれだけ遅れるかはダイナミクスを持っているので、モデルを使わないとうまく把握できない。また、ディレイを正確に捉えるには、これは数式で把握するしかないのではないかと思います。

穴井：私もそう思います。制御というのは、概念/理論と実際の物をシステムとして捉えて、それを数式に表現して考えるやり方でしかうまく掴めないでしょう。それが、原先生のおっしゃる概念的な難しさと数学的な難しさの両方があるということだと思うんです。ところが、数学サイドの人は数式で表せば理解できても、物理的な概念や現象としては理解できない。物理サイドの人たちはその逆で、現象理解はできるがそれを数式にするとわからない。両方が歩み寄らないとギャップが埋まらない気がしますね。

原：制御の理論は敷居が高い。どうしても数式で把握せざ

るを得ない部分がある。しかし、計算では計算機を使わない人はいないわけで、理論を理論だけで理解しようというアプローチではなく、ツールと併せて概念をOJ的に学べるといいと思いますね。高い敷居が少し低くなるんじゃないかな。数式処理のツールなどを教育で使うと、パラメータは表示されていますよね。ですから、実システムのある分野で一番簡単なモデルを作って、制御ってこういうもの、という風に教えられるといいかな。パラメータを変えると結果がどう変わるかといったことも実感できる。物理現象を理解しようとする計算が大きくなるけど、制御の場合、モデルを選べばそれほど大規模計算にはならないものも多いので、現在ある計算ツールをうまくエンジニアの教育に使えらると思いますね。

石塚: 今は、その辺のパソコンでもかなり大きな数値計算が可能ですが、制御のやり方の根本は変わっていないわけで、とすると、今後は、もう一歩進んだ計算機を考える必要があって、そうすれば制御理論もよりわかりやすくなるということになるのでしょうか？

原: その「進んだ計算機」というときに、大規模データを高速に、という以外のことも考慮した方がいいのではないかといいことですね。制御は概念が重要なので、大規模高速化だけではない計算が制御分野にはあるのではないのでしょうか。

■ 基本的な考え方や思考プロセスが重要

石塚: なるほど。それは、数値計算だけでなく、新しい計算技術というものを考えたいということにも通じると思うんですが、この点、穴井さんはいかがですか？

穴井: 簡単なモデルでパラメトリックにやれば、本質的な理解が深まるし、興味を持ってもらえそうに思いますね。そういうやり方で説明すると、エンジニアにもかなり興味を持ってもらえたという印象もあります。やはり、そのあたりに突破口がありそうですね。

石塚: それと、数学は役に立つんだということがわかる本が、もっと必要だと思うんです。役に立つとわかれば勉強しようという気にもなる。ゲーム的に問題を解くだけでなく。

穴井: 数学は超入門書と専門書の間の本がない。そういう本が欲しい。ということを経験者の皆さんからは、確かによく言われますね。

原: ソフトウェアで学ぶ制御みたいな本は出ていますが、そういうのはどうなのでしょう？エンジニアの方々にとって。

穴井: 「MATLABで学ぶ○○」とか、たくさん出てますが、アルゴリズムがどういうアルゴリズムで、それで何がで

きるのかということがわかっていないと。やはり、概念的なことがある程度把握できていないと、そうした本を読んでも理解に到達できないと思います。

原: とっつきやすさという点では、とっつきやすいのかな？

穴井: まあ、ツールを使いながらわかったような感じにはなりませんね。そこで、そこに止まらずに、もっと制御の理論的なことを噛み砕いて解説してくれていけばいいんですが、残念ながら、そうはなっていないんです。

石塚: トラディショナルな制御理論の本と併せて読んで、勉強するといいかもかもしれませんね。

原: 本は、制御理論を理解するきっかけにはなるが、ということでしょうか。

石塚: 本当は、多分、講演やセミナーなどで小グループでディスカッションして、制御の考え方ってこうなんだよ、ということ個別に伝えられたらそれが一番いいのかもしれないけど、それは無理。とすると、ある程度広く知らしめるには、やはり文献というのはいいいのかな、という気はしますね。

原: 制御理論/制御工学に数式は付き物。となると、新しいメディアを使った教育という観点からツールを積極的に使って教え、できる限りハードルを低くすることを考えなければいけないでしょうね。

石塚: それと、制御設計やシステム設計を考える際の「制御的なものの考え方」です。それがこれから必要なんだ、ということを経験者に伝えることが大事だと思います。制御そのものについては制御学会とかでやればいいのであって、一般の方には、制御におけるものの考え方を啓蒙する方が大切な気がしますね。

原: そうそう、それが大切。ものやシステムをつくる時、基本的に制御の考え方無くしてはできない。なのに、それをわかってもらうのがなかなか難しい。昨年の震災・津波、原子力事故でいろいろな事例が出てきているのを見ても、システム的な考え方をもっと大事にしなければいけないということは、多くのエンジニアたちの間で共有されたと思います。原発の冷却にしても、計測できずモデルができないことが、予測不能ということに繋がっていったわけですね。計測し何らかの制御をかけて、それでその結果が予測でき、また修正できることが必要なんだということが、一般の人たちにもよくわかったのではないのでしょうか。原発も一例ですが、その他にも、エネルギーや環境といった現代の問題を考えたとき、対象がものすごく大きいために全体の把握が難しいという特徴があります。計測データも、採れるアクションも限られている。たとえば、ヒートアイランド問題をどうするのかと

いったことを考えるには、これまでの制御理論では足りず新しい制御理論の枠組みが必要だろうな、という気がしています。そして、制御理論はそこでどういう計算技術/科学が使えるのかということにも規定されるので、計算の枠組みをどう作っていくかということもこれからの制御理論の役割でしょうね。それができたときには、制御がどう世の中の役に立っているかが、もっと人々の目に見えるようになるかもしれない。社会的課題というのは、何か新しい技術やものが開発されて、それで一刀両断的に解決できるということには多分ならないと思うんです。できるのは動的予測制御とか、データを解析し予測して何らかの解決策を考えるということだけではないか。そういう点で、制御理論というのは、今後、現代社会の抱える課題解決に不可欠なものだと思います。

■ 制御の考え方を現代社会の課題に適用

石塚：従来から制御は精度や性能を上げるとか、そういうことと結び付けられていた。しかし、そこに止まらず、制御の枠組みを拡張しようというのが、原先生が提唱しておられる「グローバル制御」ということなのかな、と認識しているんですが…。

原：そうです。これまで制御はモノを作る場面に多く適用されており、そこで制御理論も形成されてきた。「モノ」というのは閉じた系です。データ範囲も比較的限られていて、それだけを見て制御を考えればいい。しかし、現代の抱える課題においては、制御対象が大規模で複雑です。ヒートアイランド現象を制御したいとすると、東京全部は無理だから、ローカルに数ポイントで温度を測るしかない。そして、温度を下げる仕組みを作るわけですが、それも、打ち水やクリーク、川などを利用してローカルにやっていくしかない。つまり、グローバルな問題を解決するには、ローカルなものをローカルに制御し、またそれをリアルタイムでやる必要があるわけなんです。こういう制御には自然現象の大規模予測が必要となることが多いですが、そこでは精度というより目的に応じて必要な分解能があればいい。そして、大きなモデルを可能な限り簡単なモデルで表わす。つまり「多分解能階層化モデル」というものが必要になると、最近、私は主張しているんです。基本は従来のフィードバック制御やモデル予測制御などをベースにしていますが、対象が大きいののでモデルの形が違ってくる。対象とするシステムの表現形式が変わるということです。

石塚：その「グローバル制御」というものには、計算技術的には新しい要求があるのですか？

原：そこはまだ見えていないのですが、階層性と多分解能が必要なので、このキーワードから計算技術への要請はありうると思います。計算対象もまちまち、要求精度もまちまちとなったとき、どういう計算をすればいい

のかということになりますから。これまで、数値計算を主としてやってきたわけですが、大規模で複雑な系を持つ社会的な課題解決のためには、新しい計算手法の構築も必要でしょう。

穴井：先生のおっしゃっている「グローバル制御」のようなことを、今、みんなが考え始めていると思います。それに必要なシステム論や新しい計算は必ず出てくるし、重要になると思いますね。スマートグリッドや、今回の震災に関することでもそうですが、大量データを解析し予測し制御する、つまり、モデル化⇒予測⇒最適化⇒制御といった流れは、解析を中心にやっていた人も、その重要性を認識するようになっていきます。しかし、システム論や制御をきちんと理解していないと、大量データも効果的に扱えないと思うんです。

石塚：新しいフレームワークの大切さというのは、結構受け入れられるのかもかもしれませんね。新しい計算技術が大切だということの方がわかりにくい気がする。計算技術の大切さというのは伝えにくいですよ。フレームワークを決めても、制御の場合、それをどう計算して、どう答に行き着くかというプロセスが難しいわけじゃないですか。それが、計算機で答を出すことに終始してしまって、計算する仕組みや計算に至る考え方が大事なのだ、ということ伝えるのが本当に難しい。

原：計算に向いているものと向いていないものを見分けることも難しいですよ。自分が考えている問題に最適解が得られることは滅多に無いわけで、①解きたい問題を最適化問題として解きやすい問題に落としとして考えるか、②近似で考えるか、しかない。素性の悪い問題に落とししてしまうと、グローバルな最適解に近づくことは難しくなるので、素性の良い問題にどれだけ落とし込めるかというのが、まさにエンジニアのセンス。そのセンスが計算機を使っていると伸びない気がしますね。

石塚：計算機のパワーが上がれば将来計算できるようになる、みたいに言う人がいますが、計算機パワーに頼るんじゃなくて、自分の解き方で回答に到達できるのか否かを見極める能力というか、センスは持ってほしい。それができれば、ツールに頼るのではなくツールをうまく利用するという方向に行けるかなと。

穴井：アルゴリズムが念頭にあって、問題をうまく落としどころに落とせば解けるという見通しがあってからやるわけで、これはモデリングのセンスですよ。しかし、それは、ぱっと身に付くものではない。このモデリングのセンスこそ、「そもそも…」と大もとに戻って考えることができるかということに左右されるという気がしますね。

原：私は、制御はサボる技術だといつも言ってるんです。ただ、本質的にサボらなければならないと。グローバル制御などは制御対象が大きくなるので全てを計算で

きない。ある程度おおまかにやって不確実な要素も前提とせざるを得ないが、フィードバックで結果を戻してシステムを是正することはできる。しかし、それにはリアルタイム性が不可欠なので、メッシュをいっばい切ってどんどん精度を上げましょうと、精度のことがばかりを考えてはられない。ある程度、大雑把にやって望みの結果を得られることが重要なんです。

制御や数学の原理を理解する意味

石塚：おおまかに見て、ここに質量があって、ばねがあってということが見極められる力、昔の人はそれがあったと思うんです。そういうセンスこそ、数学で育まれるものかなと。複雑な問題でも本質的な問題に落とし込めれば解けるかもしれない。たくさんパラメータがあるけど5つの変数が支配的だね、とか、非線形制御に乗るような問題に置き換えられそう、とか、そういうセンスがあればいい。個人的にはそれが数学的なものを普及させる意味ではないかと思うし、論理的なものの考え方に繋がるという気がしますね。



司会：石塚(サイバネット)

原：現象を理解する力も必要ですね。我々の世代は社会現象も含むさまざまな現象を、数式モデルと併せて理解するという訓練を受けてきました。“現場の勘”は物理現象をも把握しているというような話もあるけれど、対象が複雑な現象になると「勘と経験」だけでは、やはり無理です。

石塚：今後の制御のあり方というのはどうですか？

原：大規模複雑なシステムが対象となるエネルギー・環境・医療といったものの解決に、制御を役立てたいですね。制御も、社会的な課題解決に向けたシステム設計論に向かって行かなければいけないと思う。その場合、閉じた製品製造主体の制御では足りないので、制御をキーにした大規模でオープンなシステムの設計論を確立していかなければならない。そのときに新しい概念と計算手法、計算科学が必要になるということです。そういう制御に必要な計算はこういうものだ、ということも発信できて、新しい計算科学の分野ができるというのが一つの望ましい道でしょうか。

石塚：穴井さんはいかがですか？

穴井：理論を計算できる形に落とし込み、実際に適用できるものにするのを頑張っていて、その結果、数理に新しいものが付加できればいいと思いますね。

石塚：では最後に、今日はシミュレーションの問題点といった話も出ましたが、弊社への要望というか、期待のようなものがありましたら…。

穴井：今日の話の中にも出てきましたが、それを使って本質的な理解に至ることができるようなシミュレーションツールがあれば、エンジニア教育といったものに本当に役に立つと思います。そういったツールを是非作ってほしいですね。

原：御社のコーポレートスローガンは、確か「つくる情熱を、支える情熱。」ですね。それに合うかどうかはわからないし、また、これを私企業に要請して良いのかもわからないのですが、今、人を育てる環境を作ることが非常に重要だという気がしています。私は大学におりますので人を育てることは私のミッションの一つと言えますが、それを大学や学会だけでやるというのは難しい時代になってきている。「産学連携」といったことも、大体が研究主体ですね。しかし、これからは研究だけでなく教育の面での「産学連携」ということも必要になってくると思う。企業と学界が一緒になって後進を育てていくシステムができればいいし、これからの産業界にとっても大学にとっても絶対に必要だと思います。教育というのは長いスパンですから、確かに私企業の活動とマッチングするかはよくわからないところもありますが、大学と企業が一緒に人を育てる環境を考えていけるといいですね。

石塚：ベンダーは、研究界と産業界をつなげる媒体になれるのではないかと考えています。理屈に合ったモデリングの考え方やシミュレーションの仕方を、わかりやすく現場の人たちに伝えられればいいと思う。私たちは研究者ではないので難しいことを一からは考えられないとしても、研究者の考えを伝えることはできると考えています。それをやっていきたいですね。

穴井：わかりやすく伝えるということは、できれば私たちも一緒にやりたいですね。エンジニアが求めているのは、本当はそういうことだと思います。ツールと使い方とその背後にある理論を一緒に理解したいわけです。今、私の会社でも、私たちの部が中心となって社内向けセミナーをやっているのですが、いつも100人程度の聴講者が集まります。ですから、そういうことを知りたい、勉強したいという人は多いと感じますね。ただ、わかりやすく伝えなければいけない。数式による説明だけではダメなんです。

原：やはり「育てる情熱」も重要ですね。是非お願いします。(笑)

注1) 2) QEは数式処理による最適化の方法。最適値をパラメータを含んだ形で求めたり、実行可能解をパラメータ空間の領域として正確に求めたりすることができる。「パラメトリックに何かを扱える」というのもこれと同じことを意味している。

折紙工学の数理と産業への応用

東京工業大学大学院 理工学研究科 機械物理工学専攻 教授 萩原 一郎

特集：これからの産業社会と数学

1. 緒言

紙を折るのは古今東西万人の行為であり日本独自のものではありません。その中で、我が国には優れた折り紙作家が輩出し、今ではORIGAMIはそのまま英語になり日本伝統文芸として世界から崇拝されています。たとえば、第2次世界大戦直後、英国のエンジニアが日本の七夕飾りをヒントに開発したハニカムコアというものがあります。このハニカムコアは、糊付けして製作されるため熱に弱く、その形状から曲面化が困難、せん断力に弱いという欠点を有すものの、面外方向の重量当たりの反力が最も大きいため多方面で使用され、今や数兆円の産業となっています。折り紙の産業応用は今のところハニカムコアのみで、しかもそれが英国のエンジニアによって開発されたという事実を、我が国の工学研究者は真摯に受け止めなければならないでしょう。これは、我が国では折り紙や切り紙を伝統的に遊びとして捉え、学術的観点から折り紙の本質を解明する努力を怠ってきたためと考えられます。我が国の先端技術の一つであるロボット工学は、江戸期からくり技術がその基になると言われています。伝統技術は一見、ローテクのように見えますが、これに学術的な手と工学的な努力が加わることで先端技術に変貌する場合があります。このような観点から、折り紙/切り紙技術は先端技術に脱皮させ得る、あるいは脱皮させねばならない残された伝統技術の一つではないかと考えます。このような序文で野島博士は、2002年11月に「折紙工学」を提唱しました⁽¹⁾。私はこれに深い感動を覚え2003年4月に日本応用数理学会に「折紙工学研究部会」を設けました。

08年度に設けられた科学技術振興機構 (JST) の日本の科学技術の紹介のコーナーサイト <http://sciencelinks.jp/content/view/656/260/> (英語) に折紙工学は次のように説明されています。「日本の伝統的な手工芸である折り紙の技術を科学的に研究して工学に応用しようとする学問。京都大学の野島武敏博士が提唱。東京工業大学の萩原一郎教授が2003年に折紙工学に関する研究部会を日本応用数理学会に立ち上げ研究が進められている。簡単に潰せるペットボトルや車体や家具など軽くて強い構造開発に結びついている。今後、折紙工学は、衝突強度、遮熱、吸音・遮音、幾何学模様デザインなどに応用され、inflatableな宇宙構造物、ビルや鉄道車両のフロア構造、ヒートアイランド対策としてビルの遮熱壁、騒音対策として防音壁などへの利用が検討されている。」

本報では、野島博士らによって創成された新しい折り紙の一部を紹介し、折紙工学に必用な計算力学的側面に関する要件を記した後、二つの産業応用例について述べます。

2. 産業応用を秘めた新しい折り紙の形状創成と折紙工学の要件

2.1 産業応用を秘めた新しい折り紙の形状創成

近年注目されているバイオミメティクスの観点から折り紙構造が考えられています⁽²⁾。折り紙または切り紙で造られる

構造は大きく分けて2つの大きな特性を有します。それらは(1) 折りたたみ/展開機能と(2) 薄膜を高強度の構造にする強化機能です。前者は主に螺旋形で変化・変形の容易な構造、後者は対称形で安定化をもたらす構造になる場合が多いです。自然界においては多くの螺旋構造や模様が現れます。その2、3の例を図1(a)~(c)に示します。特に、植物においてはその模様フィボナッチの等角螺旋群[フィボナッチの数列、1、1、2、3、5、8、13、21、34、55、… (各数は前2数の和)]で与えられる2個の数(例えば21と34)からなる螺旋群が明瞭に現れます。この数列は細胞の分化と関連し、進化とも関連すると信じられています。連続する2数の比が無大の時、黄金比1.618になることから、この螺旋は黄金螺旋とも呼ばれます。図1(b)のサボテンの側面を円筒と見立て、螺旋模様を折り紙の折れ線(後述、展開図参照)と見ますと、この螺旋は上方に逃げ得る自由度を持ちます。これが螺旋構造の展開能をもたらしています。一方、図1(d)、(e)に示される構造は対称で、安定な構造になることが多いです。図1(f)は円錐殻を軸圧縮し塑性座屈させた後、引き伸ばしたものです。円周方向に谷折線が閉じるように走る対称構造になるため、このような構造は折りたたみ/展開が困難になります。図1(g)に(f)の折紙モデルを示します⁽²⁾。このように植物の観察から多くの展開・収縮能を有す折り紙構造が作られます。

2.2 折紙工学の要件

折紙工学は、①バイオ・折り紙的側面、②感性的側面、CAD&CG的側面、③計算力学的側面、④製造加工的側面、の4つの側面から成ります。すなわち、第①グループで、様々な形を創成します。第②グループで第①グループで得られた形を具体的にCAD化し、CGで美的な観点から、時に形状そのものにフィードバックします。折り紙のIT化は折り紙創発者の想像力をさらに促進します。このようにして得られた形を基に

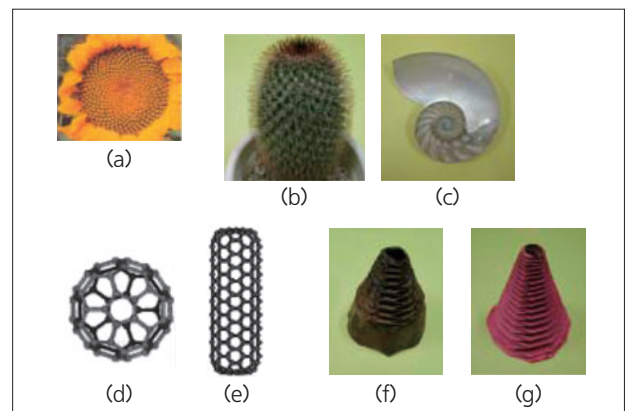


図1 螺旋型；(a) ひまわりの小花が描く螺旋(中心から、時計回り34、半時計回り21本の螺旋)、(b) サボテンの小花の螺旋の側面、(c) 生きた化石、オウム貝の切断面(自然界における最も美しい螺旋と言われる(等角螺旋))、対称型；(d) カーボンC60(32面体、隅切り20面体)、(e) 籠型C-ナノチューブ(螺旋型と言う人もいる)、(f) 銅製円錐殻を軸圧縮による塑性座屈後、引伸ばし、(g)；(f)の折紙モデル

計算力学で機能の適切化を行います。ここでは、CADグループや製造加工法グループとも密接な連携を持って進められる必要があります。機能と製造加工とは両立が容易でないからです。

3. トラスコアパネルの車体パネルへの適用

3.1 新しい軽量コアが望まれる理由

省資源の時代に当たり、軽量化は自動車業界をはじめとする産業界のあらゆる分野で最重要課題であり、サンドイッチパネル等軽量高剛性パネルに対する需要は拡大の一途にあります。航空機用途を中心に開発されたハニカムコア・サンドイッチパネルも近年さまざまな分野で利用されるようになってきており、飛翔体以外への利用も増加しています。しかしながら、ハニカムコア・サンドイッチパネルは依然として高価で、レーシングカーや新幹線など一部の高速鉄道、建築物では高層ビル等、あくまでも利用範囲が限られているのが現状です。コスト等の観点から考えた場合、今後も増加すると予測される全ての軽量化ニーズに、既存のコア材のみで対処することは難しいでしょう。

3.2 トラスコアパネル

そこで、古典的幾何学で知られる平面/空間充填問題に着目し、さらに平面から立体を創出する折り紙の手法を応用するなど、新しい形状のコアパネルを創成する研究を行いました⁽³⁾。この研究の過程におきまして、四面体形状の凹部を設けた平板を2枚対向させることでオクテット・トラス形の安定構造を製作する方法を考案し、トラスコアと名付けた新型の軽量高剛性パネルの創成を得ました。はじめに製作した基本モデルの構造は四面体と八面体から成っており、鋭角を有するため塑性加工において破れが生じやすいこと、接着面積がほとんど無いことなど、実用上の問題が提示されました。この問題を解決し、さらに新しいコア形状を多数創成するため、図2に示すようにコアパネルの形状に平面充填形の変換理論を応用し、等辺の正則パターンから不等辺多角形を含む非正則パターンへと連続的に変換することで、多数の発展モデルをデザインする方法を開発しました⁽⁴⁾。

3.3 多段階成形法の開発

金属の場合、トラスコアパネルの複雑な四面体形状を安価な単純プレスにより成形すると材料の成形限界を超える板厚減少が生じ、割れが発生することが試作段階で明らかとなりました。この問題に対し、著者らはまず独自のプレス成形シミュレーション技術の開発を行い、計算力学を援用し解決を試みました⁽⁵⁾。まず、予備成形において材料の張出しがほぼ一様となるように半円形状に成形し、その後、四面体形状に成形する多段階加工法を検討しました。この場合、予備成形に用いる半円形金型の寸法が問題となります。そこで、実際の金型製作とそれを用いたパネル試作に先立ち、非線形陽解法FEMによる成形シミュレーションを実施し、金型形状およびクッション圧等の成形条件の検討を行いました。その結果、最適な予備成形金型形状および加工時の条件設定が得られ、これを試作に適用することで試作工数を大きく低減することができました。

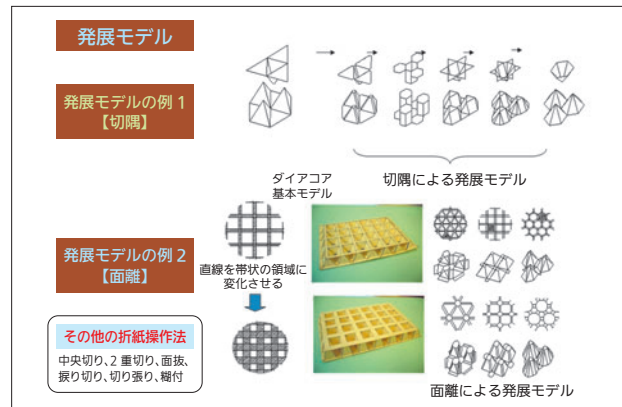


図2 トラスコアの切隅および面離による発展モデルの例

3.4 トラスコアの機能

詳細は省略しますが、トラスコアパネルの基本モデルとして、2枚のパネル片を貼り合わせたモデルをダブルトラスコアパネル、片側の一枚を平板にした変形タイプで曲面化および接合が容易なシングルトラスコアパネルの二つの基本モデルを開発しています。プレス成形によってパネル片は厚さが変化するとともに、加工効果の影響を受けます。これらがパネルの曲げ圧潰強度に与える影響を、数値シミュレーションで調べました。加工硬化と板厚変化をともに考慮したケースでは、両者を考慮しないケースに比べ、約1.6倍の強度になり、実験結果に合致するようになりました⁽⁶⁾。本解析は、薄板から成形されたコアパネルの強度評価を行う場合は、加工硬化の影響を考慮する必要がありますを示唆しています。また振動特性ですが、等重量で基本固有振動数はシングルトラスコアで平板の5～6倍、ダブルトラスコアで10倍程度となっています⁽⁷⁾。なお、以上のことも含め、トラスコアパネルは、ハニカムコアに総合的に優ることが示されました⁽⁸⁾。トラスコアを車体に適用した例を図3に示します。



図3 トラスコアパネルによる車体パネルの試作

4. 反転螺旋型折り紙構造の車体強度メンバーへの適用

自動車の前面衝突時、客室部分の変形を最小限に抑えるには、前部構造で衝突のエネルギーを極力吸収しなければなりません。前部構造にはエンジンやサスペンションがあり、それらは硬く変形量は小さいため、衝突エネルギーは車体で吸収させる必要があります。そのために、車軸方向に走る左右のサイドメンバーが衝撃吸収体として大きく機能します。車体設計で困難かつ重要なことは、衝突時のサイドメンバーの変形を先端からできるだけ長くアコーディオン状にきれいに折り畳まれるように潰しつつ、自らの高張りでそれ以上変形が進まない、いわゆる底づきの発生が遅くなるように、変形を制御することです。しかし、理想的な変形モードであっても衝突時にサイドメンバーに底付きが生じ、変形率は70%程度です。そこで本研究では折紙を利用し、サイドメンバーを折り畳み可能な構造とすることを考えます。

4.1 折紙工学に基づく折り畳み可能な円筒のモデル化

図4のような帯板を N 回折る場合、折り線(①, ②...)と X

軸との成す角を $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N$ ($0 \leq \theta_i \leq \pi/2$) とすると、折れ曲がった後の図5に示す X_i 軸と X_0 軸との角 Θ_i は次のように表わされます⁽⁹⁾。

$$\begin{aligned} \Theta_1 &= 2\theta_1 \\ \Theta_2 &= 2(\theta_1 - \theta_2) \\ &\vdots \end{aligned} \tag{1}$$

したがって、 N 回折れ曲がった後の X_N 軸と X_0 軸との成す角 Θ_N は、次式を満たします (N は偶数)。

$$\Theta_N = 2\{\theta_1 - \theta_2 + \theta_3 - \dots - \theta_N\} \tag{2}$$

すなわち、

$$\Theta_N = 2\pi \tag{3}$$

を満たすように折り線の角度を決めれば、折り畳み後の平面は閉じ筒状になります。

式(3)は、完全に折り畳んだ状態で展開図の左右両端が繋がる条件です。しかし、所期の構造を作るには、完全に折り畳まれた平面だけでなく立体をも構成する必要があります。以下でその条件を求めます。

ここで平行四辺形 $A_1A_2B_2B_1$ が横方向に m ユニット ($m \geq 3$) 並んだ展開図を考えます。このとき、折り畳み可能となる角度 α は、式(2)から

$$\alpha = \pi/m \tag{4}$$

となります。図5の三角形 $A_1A_2B_2$ に着目すると、完全に折り畳んだ状態では、点 B_2 は角度 β に拘らず、辺 A_1A_2 を正 m 角形の一辺とし、それに外接する円上にあります。その円を鉛直上向きから見ると図6のようになります。この三角形の頂点 A_1, A_2 を円上に固定したまま、頂点 B_2 を上方に起こしていくことを考えます。このとき、この展開図が立体を構成するには、頂点 B_2 が再度同じ外接円上の点 B'_2 に来る必要があります。つまり、両端点 R_1, R_2 を除いた弧 R_1R_2 上に頂点 B_2 があるとき、この展開図は立体を作ることができ、かつ平面に折り畳むこともできます。そのための角度 β の範囲は次のようになります。

$$\pi/4 - \pi/2m < \beta < \pi/2 - \pi/m \tag{5}$$

頂点 B_2 が弧 R_0R_1 上にある場合は、折り線が維持されないため、立体を構成できても折り畳むことはできません。

さて、螺旋角 β が式(5)を満たしますと、展開収縮時コアは反転せず、抗力は比較的小さい。これは、たとえば、ペットボトルやビール缶に使用できる可能性があるため、あるビール会社と実用性の検討を行っています。一方、 β がこの範囲外だ

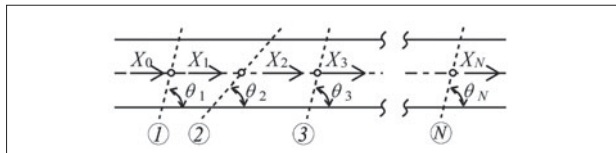


図4 帯板上の折線の配置図

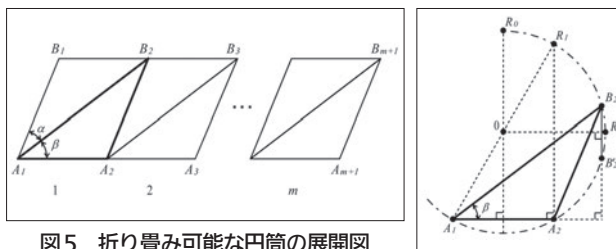


図5 折り畳み可能な円筒の展開図

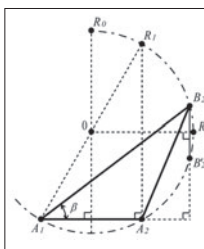


図6 円上の三角形 A_1A_2B の配置

と展開収縮時コアは反転し、抗力は相当に大きくエネルギー吸収材に使用できると考えました。自動車のエネルギー吸収材である中空半割り型部材は理想的に潰れたとしても自らの高張りのため、自長の7割程しか変形しませんが、この反転する螺旋型円筒折り紙構造の場合、自長の9割以上の変形量が得られました。しかし、荷重は現行構造より低く、期待したほどのエネルギー吸収量は得られませんでした⁽¹⁰⁾。その後、最適化解析を行った結果、等重量で、現行の中空半割り型部材より1.8倍ものエネルギー吸収量が得られる設計仕様があることを見出しました⁽¹¹⁾。そして、ハイドロフォーミングに関する解析を行いそれに則って試作も行いました。RSC(反転螺旋型円筒折り紙構造)を車体メンバーに適用した例を図7に示します。



図7 RSCの車体メンバー適用例

5 まとめ

- (1) 折り紙または切り紙で造られる構造には大きく分けて、(1) 折りたたみ/展開機能と(2) 薄膜を高強度の構造にする強化機能という2つの特徴があります。前者は主に螺旋形で変化・変形の容易な構造、後者は対称形で安定化をもたらす構造になる場合が多いことを述べました。
- (2) 平面/空間充填幾何学から編み出されたトラスコアパネルは総合的にハニカムコアに優ることを示しました。
- (3) 螺旋型円筒折り紙構造では螺旋角によって展開収縮時反転する場合と反転しない場合があり、前者はエネルギー吸収量が大きく後者の場合は吸収量が小さくそれぞれ異なる利用法が考えられることを述べました。

折紙工学は以上のように新しい学問ですが、さらなる進展には皆様方の参加が必要です。今後ともどうぞよろしくお願い致します。

参考文献

- (1) 野島武敏, 数理折紙による構造モデル, 京都大国際融合創造センター (IIC) フェアール, 2002年11.26.
- (2) 野島武敏, 植物に見るらせん模様の解析とその工学への応用, プラントミメティクス〜植物に学ぶ〜, pp.106-117., 2006年8月.
- (3) T. Nojima, K. Saito, Development of Newly Designed Ultra-Light Core Structures, JSME International Journal Series A, The Japan Society of Mechanical Engineers, 2006.1, vol.49, pp38-42.
- (4) K. Saito, T. Nojima, Development of Light-Weight Rigid Core Panels, 『Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, The Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.1, No.9, 2007
- (5) 戸倉直, 萩原一郎, トラスコアパネルの製造シミュレーション, 日本機械学会論文集(A編) Vol.74巻746号, 2008, pp.1379-1385.
- (6) 戸倉直, 萩原一郎, トラスコアパネルの衝撃エネルギー吸収性能向上のための形状最適化, 日本機械学会論文集(A編), 76巻765号(2010-5) pp.564-572.
- (7) 田中聡, 斎藤一哉, 森村浩明, 萩原一郎, トラスコアパネルの振動特性に関する研究, 日本機械学会論文集C編, 76巻765号(2010-5, pp.1050-1055.
- (8) 日刊工業新聞, 平成22年7月20日 “トラスコアによる太陽電池パネル30%軽量, 東工大が新技術”
- (9) 野島武敏, 平板と円筒の折りたたみ法の折紙によるモデル化, 日本機械学会論文集A編, 66巻643号(2000/4月), pp.1050-1056.
- (10) 萩原一郎, 山本千尋, 陶金, 野島武敏, 反転らせん型モデルを用いた円筒形折り紙構造の圧潰変形特性の最適化検討, 日本機械学会論文集A編70巻689号(2004/1), pp.36-42.
- (11) 趙希禄, 胡亜波, 萩原一郎, 折紙工学を利用した円筒薄肉構造の衝突圧潰特性の最適設計, 日本機械学会論文集A編, 76巻761号(2010-1), pp.10-17. 性能に関する研究, 日本機械学会論文集A編, 76巻767号(2010-9), pp.1131-1138.

Mathematics for Industry シンポジウム開催報告

去る2011年9月12日(月)、東京アキバプラザ(サイバネットシステム本社ビル)にて、『Mathematics for Industry シンポジウム』を開催いたしました。

数理技術は、金融、暗号処理、画像処理などの分野での産業利用は進んでいますが、ものづくり/製造の場への適用は長年の課題となっています。本イベントは、数理技術の適用の事例紹介に留まらず、数理技術を根付かせる上での技術/人材交流(採用)/仕組み作り、などについて、アカデミックと産業界の方々に踏み込んだ意見交換をしていただく場として開催されました。当日のプログラムは下記の通りです。

◆ 基調講演

- 九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 所長 **若山 正人 氏**
技術の未来を拓く数学「マス・フォア・インダストリ」～数学と産業界の連携を目指して～

■ 産業界で数理技術の利用、普及に努められている方々から、以下のテーマでご講演いただきました。

- マツダ株式会社 技術研究所 **中本 尊元 氏**
「マツダにおける自動車関連技術開発での数理技術の活用事例紹介」
- 株式会社富士通研究所 デザインイノベーション研究部 主任研究員/
九州大学 大学院数理学府 マス・フォア・インダストリ研究所 教授 **穴井 宏和 氏**
「ICT企業における産業数理とものづくり」
- 株式会社 本田技術研究所 四輪R&Dセンター **足立 由夫 氏**
「数式処理による自動車乗心地性能設計手法」
- 株式会社豊田中央研究所 車両システム研究部 熱流体基盤研究室 主席研究員 **近藤 継男 氏**
「数理的最適化手法に基くモノづくりの実現に向けて」

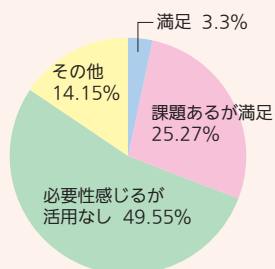
■ 最後に、弊社グループ子会社である Maplesoft 社の山口 哲が、「Maplesoft が取り組む“数学的”ものづくりの実現に向けて」というタイトルで講演させていただきました。

この催しには、実に200名を超えるお申し込みをいただき、セミナー後のアンケート反応も9割以上のお客様にご満足いただける結果となりました(有効回答数120件)。以下、主な反応とコメントをご紹介します。

Q (製造業のお客様向け) 御社での数学活用についてお答えください

<コメント欄>

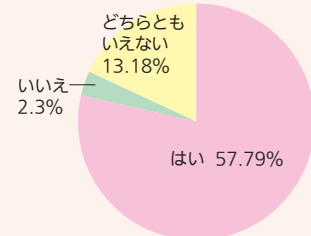
- ・社内での必要性認識は低い(個人的には最優先にすべきと考えているが...)
- ・物理ではなく、数学という切り口では認識が低いと考えます。
- ・活用を推進しているグループに所属。まだまだ活用できる範囲は広いと考えます。
- ・残念ながら数学を活用できるスキルを持ったエンジニアがいません。



Q (製造業のお客様向け) 本シンポジウムは御社での数学活用のヒントになりそうですか?

<コメント欄>

- ・数学の応用の実例により、自分の業務への応用を考えることができた。
- ・数理応用もかなり進みつつあると思いました。
- ・数理科学の広がりが困難なことは感じているが、どうすれば広げられるか少しヒントが得られたと思います。



また、大学との共同研究、人材交流の事例紹介がありましたが、アンケートでは36名の方々から「共同研究の可能性あり」もしくは「今後可能性あり」という、大変積極的なご回答をいただきました。本シンポジウムが契機となり、産学の交流が促進されることを期待しております。

今回は自動車業界の多数の事例をご紹介いただきました。今後も「数理技術の産業界への展開」をメインテーマに他分野にも目を向けたシンポジウムを行いたいと思います。

自動車開発での数学と物理の役割

トヨタ自動車株式会社 理事 大富 明

特集：これからの産業社会と数学

日本で「数学が好きだ!」と言うと変人扱いにされてしまうようです。技術者間でも、数学は難しいだけで役に立たない、などという会話が当たり前になされています。私は、自動車会社に入社して30年以上経ちますが、その間に数学に対する偏見をいろいろ経験してきました。

こんなことがありました。ピストンの図面を描いていた際に、少し複雑になったピストン形状のある部分の容積を計算するために三角関数を含む計算をしていたところ、それを見ていた先輩から「入社以来、四則計算しか使ったことがない。ときどき、 $\sqrt{\quad}$ を使うくらいだ」と言われました。しかし、私の設計したピストンは想定した通りの良い性能を出しました。

排気系に装着するリアクターという排気ガス浄化装置の設計で、内部のガス容積をできるだけ大きくすることが求められ、形状が複雑だったのでもうまく搭載するためにいろいろな計算をしたこともあります。でき上がってみると私の設計したリアクターは他の設計よりもうまく搭載できて、かつ、これまでよりもかなり性能が良かったのです。実験レベルではありましたが、私たちのグループで初めて触媒無しで排気ガス規制を通したシステムは、このリアクターを搭載したものでした。

今では、こうした計算はCADで簡単にできるようになっています。しかし、だから数学は要らないということではありません。私が申し上げたいことは、「良いものを作るためにやらなければならないことは、どんなに面倒であってもやらなければならない」ということです。それでなくても、CADや各種のツールが発展した現代では、従来よりもこうした設計は、簡単にやれるようになっているはずですが。

対象の動的振る舞いをシミュレートする微差分方程式に基づくモデルは、実験データと合わないから役に立たないと散々言われてきましたが、モデルと実験データが合わない理由を調べていくと、対象のハードウェア側の問題や実験上の問題が次々に見つかり、それを直すとどんどん実験データとモデルが一致していくことも経験しました。

電子燃料制御の採用により吸気系の自由度が増えるので、吸気系の形状を最適化しエンジン性能を向上せよという仕事が与えられたとき、実験データから吸気圧力脈動の重ね合わせが想像以上に良い精度で成立し、古典制御理論で勉強したラプラス変換が有効なことがすぐにわかりました。そこで、時間方向と吸気系の長さ方向にラプラス変換を適用し、粘性付きの波動方程式を解くと、吸気圧力脈動をうまく記述でき、エンジン速度方向のエンジン性能も良い精度で予想できると考えました。このことを利用して、可変吸気システムを大域的に概観できる設計法ができたのです。結果的には数学もモデルも、非常に役に立ったと言えます。

他の人は数学やモデルを使わずにどのように設計し実験データなどを解析するのか、私個人としては、数学やモデル抜きでの設計や解析というのは全く想像もつかないところがあります。もしかすると、工学としての最適設計を実際に行ってい

る人は、意外に少ないのかもしれませんが。多くの人は前例をベースに多少の改良を行い、それを積み重ねるというアプローチを取っているようです。それが素早くできるならそれで良いのですが、多少複雑なケースになると行き詰ってしまうことが多いように思えます。そうしたことが理由で行き詰った開発に助力を頼まれ、数学の知識で解決してきたことも、思えばいろいろあったような気がします。

たとえば、あるエンジン制御システム開発が思うように進展しないということ呼び出され、その開発に関わることになったことがあります。このときは、モデルを用いて開発の鍵となるセンサーの仕様を決定し、複数の制御戦略候補から納得できないものを外して1つに絞り込み、モデルから制御を導出した結果、ほぼ3ヶ月で目処が付きました。これは、私が経験したモデルベース(MBD)開発を適用した量産開発の最初の例となりました。

ハイブリッド車の開発でも、始動すると逆走したり、駆動系に振動が発生したり、駆動系が破損するなど、もろもろ行き詰っているというので、夏休み最後の日に呼び出されたことがあります。そのときは、駆動系の図面とハイブリッド制御の仕様書を見せられ、どうしたら良いかアドバイスしてくれといきなり言われたのですが、制御コンセプトに関する限りでできない理由はないように思いました。ただ、気になる点として、第1に、エンジンマウントがあまりに華奢に思えること。第2に、制御に関しては場合分けが余りに多く、特にダイレクトパスが3箇所あること。第3に電池の充電状態推定解像度が粗いこと。この第3の問題が第2の問題と絡むと駆動系振動の引き金になりそうでした。第1の問題に対しては、エンジンマウント仕様の再検討をお願いし、第2の問題には、モデルから導出した制御を提供して、それを参考に制御を見直すように求めました。第3の問題に対しては持ち帰って充電状態推定ロジックを開発することにし、後にオブザーバーに基づく充電推定ロジックを提供しました。結果的には3点とも妥当な指摘だったようで、ハイブリッド制御のロジックは、基本的には前進と後退の切り分けになりました。この改良策により、充電状態推定は連続的に行えるようになってバッテリー制御が駆動系振動を引き起こすことは無くなり、同時に燃費計測精度も向上できました。加えて、ハイブリッド車のモデルを用いたSILS (Software In the Loop Simulation) によって、ハイブリッド制御の信頼性確認も効率よく行うことができるようになりました。これは、モデルベース開発適用の2番目の例です。

制御システム開発において、「要求とは何か?」ということが問題になります。しかし、議論は続きますが、さっぱり結論が出ないということもよく起こります。こうした議論では、制御理論の話はほとんど出てきません。図1は制御システム設計のワークフローを示しています。制御理論では、制御対象の振る舞いの知識、望ましい制御システムの振る舞いの定義(制御対象の振る舞いモデル=プラントモデル)、満たすべき拘束条件から、制御が求まると教えられています。しかし、開

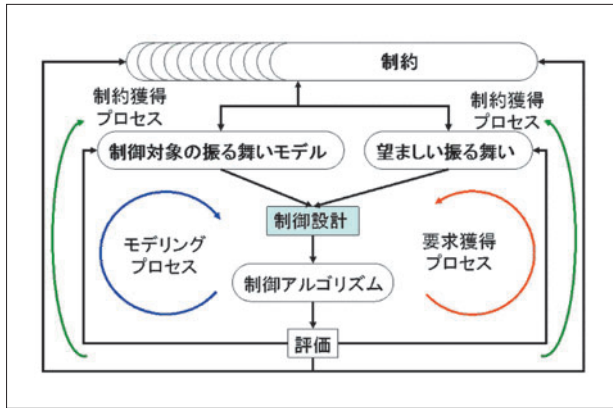


図1 制御システム設計ワークフロー

発というものは必ず未知な要因を含んでおり、事前にその全てを知ることはできません。したがって、開発初期にはプラントモデルや望ましい制御システムの振る舞いの定義も不完全だと言えます。制御システム設計と評価を繰り返すことで、これらは明確になっていくわけです。言い換えれば、未知なものを明確にしていくことが開発であるとも言えましょう。

しかしながら、機能要件・非機能要件という言葉は頻繁に使われるが、プラントモデルの話はほとんど出てきません。制御理論の立場からは、要求と言われるものが入力と出力を反転させた逆モデルの場合もあります。要求は言葉で表すものという前提もあるようで、実際に制御システムを開発する立場からは、非常に奇妙に感じられるところです。現象を見れば良否が直ちに判断できるが、言葉ではとても表し切れないことは数多くあるからです。要求は言葉で表すべきものというのは、開発者が一般ユーザーにヒヤリングする場合のような、言語ベースのコミュニケーション手段しかない場合に適用される概念のように思えます。我々は開発のプロであり、言語以外にも各種のコミュニケーション手段を持っているわけです。制御理論というと、非常に矮小化された漸近安定性証明に押し込まれ、実用的でない勝手に決め付けられているようなところがありますが、決め付ける前に、理論が何を教えてくれるのかをよく考えてみるべきだと思います。そうでないと、本質を見失う危険があるでしょう。

ある仕事をする場合に、その仕事の質は、どれだけ対象につ

き深く考え、精度の高い予測ができるかに関わっているように思えてなりません。そうなると、それはモデル化の問題であり、精度の高い予測を行うためには数学の力に頼らざるを得ないことになります。そこからやるべきことを明確にして実行すれば、ほとんどの問題は解決されるというのが私の個人的な意見です。そのための道具が物理や数学なのです。腕の良い職人は良い道具を持っているものです。通常、道具にはいろいろな工夫が施され、より仕事に適合したものになっています。良い例が仏師の金槌やカンナ、ノミの類です。既存のツールをただ使うだけではなく、みな仕事に応じていろいろな工夫をして使っているのです。金槌、カンナ、ノミは誰でも簡単に使える道具ですが、うまく使うには経験と熟練が必要であり、また、道具を目的に応じて変化させることも必要です。職人の「良いものを作りたい！」という熱意がそうさせるのでしょ。道具とは、本来そうしたものだと思えます。

数学は人間の思考にとって最も基本となる道具です。そして、どのように考えれば良いかを的確に教えてくれるものです。さらには、問題の全体像を俯瞰できるようにしてくれ、かつ、その詳細も教えてくれます。世の中のあらゆるものは物理法則に支配されています。ソフトウェアでさえ、開発者は意識していないとしても対象の物理が反映されているはず。したがって、物理法則に基づくモデルは現象の本質を的確に教えてくれます。しかし、本質を追求しようと努力し、どうしたら良いものができるか真剣に考え、道具を磨く努力が無ければ、幼児に与えた金槌程度の効果しか得られないでしょう。

「数学は必要ない!」、「モデルは使い物にならない!」という考え方は、「自分は真剣に考えていない」、「良いものを生み出す工夫もしていない」、「面倒なことはやりたくない!」といったことを公然と言明しているようなものだと思います。

科学と工学は人間の知の集大成であり、万人が等しく使えるように進化してきたものです。これを無視して我流を通すのは、奢り高ぶった態度と言われても反論はできないでしょう。まず、全ての偏見を捨てて、人間の知の集大成と向き合ってもらいたいと思います。そして、それを少しずつ理解して、何とか自分の目的に合った使い方ができるようになりたいものです。それができなければ、どのような素晴らしい知識も、幼児に与えた金槌程度のものにとどまってしまうのですから。

サイバネットは、Car Testing Japan 2012 / Car Designing Japan 2012 の プラチナスポンサーです!

(CYBERNET CAE SYSTEMS (Shanghai) Co.,LTD.も昨年、「Car Testing China 2011」に参加しました)

皆さまのお越しを、心よりお待ちしております。

自動車設計・製造における品質・性能・効率にフォーカスする
Car Testing Japan 2012

自動車設計におけるモデリング・解析・評価にフォーカスする
Car Designing Japan 2012

<展示ソフトウェア>

- マルチフィジックス解析ツール『ANSYS』
- 汎用型最適化支援ソフトウェア『Optimus』
- 3次元公差解析ツール『CETOL6σ』
- 複合領域物理モデルシミュレータ『MapleSim』 など

◆特別講演 P-3

2月8日(水) 9:30～10:00 会場Aにて

「ものづくりの情熱を支えるシミュレーション技術」

サイバネットシステム(株) 重松 浩一

【主催者さまサイト】

<http://cartesting2012.jp/>

日時：2012年2月7日(火)～9日(木) 8:30～18:00 (最終日のみ17:00まで)

場所：東京国際フォーラム

【サイバネットでのお問い合わせ先】

ビジネスサポート部

担当：太田 (cybernet-event@cybernet.co.jp)

TEL: 03-5297-3608

符号理論の背後にある数学

サイバネットシステム株式会社 CTO 石塚 真一

特集：これからの産業社会と数学

1. はじめに

今回は、数学の特集とのことですので、工学理論の中でも特に数学理論と関係の深い符号理論を取り上げてみようと思います。

符号理論、つまり「誤り制御符号 (ECC : Error Control Coding)」は、デジタルと名が付くシステムには必ず使用されていると言っても過言ではありません。CDプレーヤーが世に出て以来、デジタルサウンドも馴染み深いものとなりましたが、その理論的背景となっているのが、この「符号理論」です。この理論は、CDプレーヤーの他にもDVD、携帯電話など、今やなくてはならないツールに次々と応用され、現代生活を支えています。

さて、符号理論は工学理論の一つであると言えますが、極度に数学的なもので、符号理論を本当に理解するためには、「群」「環」「体」といった抽象的な代数概念を理解しなければなりません。そうした数学理論を一から学習する難しさが符号理論を理解する大きな障壁になっていると思われる。しかし、工学理論としての符号理論を見た場合は、話は逆に簡単になっているという面もあるのです。すなわち、工学理論は実問題に対して仮定を設け数学を応用して解を組み立てますが、実際に適用する際には実験値や経験値を用いて解を補正していく必要があります。しかし、符号理論の場合、その成果をほぼそのままの形で工学的に反映でき、技術的にもシフトレジスタを用いて簡単に実現できるのです。また、長年の研究により実現手法も完成しており、計算手法さえ間違わなければ、とりあえずこの理論を実際に使え、しかも実際上困ることは少ないと言えます。さて、このように優れたものである符号理論ですが、誌面の制約もありますので、ここでは符号理論の背景にある数学理論をごく簡単に紹介することにします。

2. 符号理論はパズルだ

2.1 距離の概念

問題1) 数並べ その1:

1～9の整数を用いて、隣り合う数(縦・横)の差が3以上になるように3行3列のマスを埋めなさい。

解答1) 解答例を以下に示します。

2	6	3
7	1	8
4	9	5

図1

これくらいであれば、次々に数を並べてみることで解答できるでしょう、では、次の問題はどうかでしょう。

問題2) 数並べ その2:

1～9の整数を用いて、隣り合う数(縦・横)の差が4以上になるように3行3列のマスを埋めなさい。

これは非常に難しい問題で、解が見つかりません。しかし、以下のように問題を変えてみましょう。どうなるでしょうか。

問題3) 数並べ その3:

1～100の整数を用いて、隣り合う数(縦・横)の差が4以上になるように3行3列のマスを埋めなさい。

解答3) 解答例を以下に示します。

20	60	30
70	10	80
40	90	50

図2

この問題なら、上の解以外にいくらかでも正解が見出せますね。これは、使っても良い数の範囲が1～100と多くなっているため、つまり、数の集合が大きくなっているからです。この問題について、使う数の集合を「10～100までで10飛びの整数を用いて…」と、小さくすることもできます。即ち{10, 20, …, 80, 90, 100}の集合を使え、という制限を加えたわけですね。この集合は数もちょうど9個となり効率が良いと言えます。今、ある集合の中で「隣り合う数の差」にも注目していますが、実は、ここに符号理論の一つの本質があり、それは、このようになるべく差の大きい効率の良い集合を見つけるということです。ここでは整数を使いましたが、実際は2進数で展開します。この、数を2進数で表した場合の1と0の異同の数を「ハミング距離」と呼び、符号理論では、この距離がなるべく大きくなるように数を選択するのです。たとえば、4と6を2進数で表現すると、

4 : 0100, 6 : 0110 となり、両者のハミング距離は1になります。

2.2 有限であること

先の問題では、整数を対象にしておりましたが、整数の集合の大きさは無限大ですので、いくらかでも数の組み合わせが考えられます。つまり、いくらかでもハミング距離の大きな数の組み合わせを見つけられるということです。では、次の問題はどうかでしょう。

問題4) 数並べ その4:

20以下の整数を用いて、隣り合う数(縦・横)の差が

なるべく大きくなるように3行3列のマス目を埋めなさい。

こうすると、かなりパズル問題らしくなり、解答にも手こずると思われる(数独パズルなど好きな方は挑戦してみてください)。

実際の符号理論では、まず最初に有限の集合を考え、それを基に集合を拡大していき、それを「ガロア体」と称すのですが、要は、「有限の集合」を問題にしているということ意識しておけば十分だと思います。

2.3 割り切れること

知能テストや就職試験などでもよく出題される「仲間外れ問題」です。

問題5) 仲間外れを探せ：

次の集合で仲間外れはどれですか？また、その理由は？

{21, 9, 15, 3, 24, 7, 12, 33, 42, 18}

解答の一例として「7」。理由は「3で割り切れないから」というのがありえます。

では、上の例を使って情報を表現してみましょう。情報は言葉で、「こんにちは」という挨拶です。下記のように「こんにちは」の一文字にそれぞれ、

こ ……21
 ん ……12
 に ……9
 ち ……33
 は ……15

と、3で割り切れる数を割り当て、適当な伝送路を介して送ったとします。もし、伝送路にノイズがあって、「こ…21」が「22」と受信されたらとすると、これは3で割り切れないために誤送信であることがわかり、再送を要求するなどの措置を採ることができます。もちろん、「こ…21」が「12」と受信された場合は、12は3で割り切れ、また「ん」という文字が割り当てられているため、受信側で直ちに間違いと判断することはできません。しかし、各文字に割り当てる数の差、すなわち「ハミング距離」を大きく取っておけば、そのように迷ったり、判定を誤ったりする確率を低くすることができます。符号理論の本質の2つ目は、このように「割り切れるかどうか」と、割り切れないなら、その「余り」はどうなっているかに着目することにあります。

3. 「体」も簡単

3.1 「体」って何？

さて、これまでの説明で、符号理論ではどうやら割り算が重要な役割を果たしているのだ、ということに気づいていただけたのではないかと思います。実は、符号を構成し、その誤りを検出・訂正するには、足し算、引き算、掛け算も自由に使いこなす必要があります。つまり、「四則演算」の全部が必要です。そして、話を思い切り簡単にすれば、「普通に四則演算が行える数の集合」を「体」と呼ぶのです。たとえば、整数全体の集合は体ではありません。「 $1 \div 3$ 」などの答は整数の中には無いからです。分数を用いれば、答は「 $1/3$ 」です。私たちの身

近な数では、有理数・実数・複素数の集合などが体になります。

3.2 では、「ガロア体」って何？

それほど厳密ではありませんが、今、 p 個の正の整数の有限集合 $\{0, 1, 2, \dots, p-1\}$ を考えます。このとき、 p を素数とすると、この有限集合は、 p を法とする演算(mod p)に関して体を成し、これをガロア体と呼び $GF(p)$ という記号で表します。ガロア体は本来は剰余類という概念を用いて、整数全体について定義されます。剰余類とは、整数をある数 p で割ったときに、同じ余りの出る集合と考えれば良いです。たとえば、 $\{0, \pm 3, \pm 6, \pm 9, \dots\}$ これは、3を法とする余り0の集合であり剰余類の一種です。符号理論でもっとも多用される2元符号(0と1から成る符号)を例にとれば、

ガロア体 $GF(2)$ 上での演算規則

• mod 2 の和	• mod 2 の積
$0+0=1+1=0$	$0 \times 0=1 \times 0=0 \times 1=0$
$0+1=1+0=1$	$1 \times 1=1$

とすれば良いのです。証明は省きますが、ここで、 $1=-1$ となることに注意する必要があります。

さて、大変大雑把にまとめましたが、符号理論に使われている数学のエッセンスはこのくらいで十分だと思います。今は、いろいろなソフトウェアで符号理論を実感できるようなプログラムがありますので、そういったものに挑戦してみるのも良いでしょう。また、符号理論の背後にある数学に興味を持たれた方は、是非、符号理論の入門書や専門書を読んでみてください。

近年では第三代携帯電話に採用されているターボ符号など、ここで述べた代数学に基づく、いわゆる代数的符号とは異なるタイプの符号も開発されています。しかし、その場合も、符号同士の遠さ、つまり距離を利用していることには違いありません。これらの新しいタイプの符号については、また機会がありましたら解説したいと思います。

最後に、この原稿を書く際に参照した書籍を参考文献として挙げておきます。この中からピックアップして読んでいただいても結構ですし、また、図書館などでご自分の興味を引かれた関連書籍を読んでみていただいても、良いと思います。きっと符号理論と数学の深い関連性について、さまざまな発見が楽しめることと思います。

参考文献

- 『誤り訂正技術とその設計手法および具体例』(日本テクノセンター, 1996年刊)
- 石田信 『代数学入門』(実教出版, 1985年刊)
- 今井秀樹 『情報数学』(昭晃堂, 1996年刊)
- 今井秀樹 『情報理論』(昭晃堂, 1996年刊)
- 今井秀樹 『符号理論』(電子情報通信学会, 1994年)
- 岩垂好裕 『符号理論入門』(昭晃堂, 1995年)
- 笠原正雄/田中初一 『デジタル通信工学』(昭晃堂, 1993年)

ANSYS社の本拠地、米国ペンシルバニア州から

1. はじめに

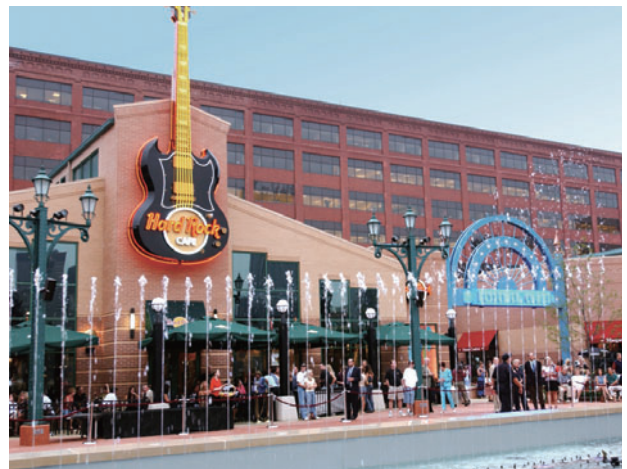
ANSYS社は、有限要素法解析プログラムでは世界一の売上規模を誇るANSYSの開発元です。1970年に、当時ウエスティングハウス社の原子力関係のエンジニアであったジョン・スワンソン博士が独立して、汎用FEMコードの開発および販売を目的としたスワンソン・アナリシス・システム社(SASI)を発足させました。1994年に社名をANSYS社に変更し、現在、本社を米国のペンシルバニア州ピッツバーグ近郊のキャノンズバーグに構えています。世界でトップクラスの流体解析プログラムや電磁場解析プログラムの開発会社を買収し、今では、年間売上10億ドルを目指す大きなCAE開発会社となっています。

今回は、このANSYS社オフィスと、所在地近郊のピッツバーグをご紹介します。



2. ペンシルバニア州ピッツバーグについて

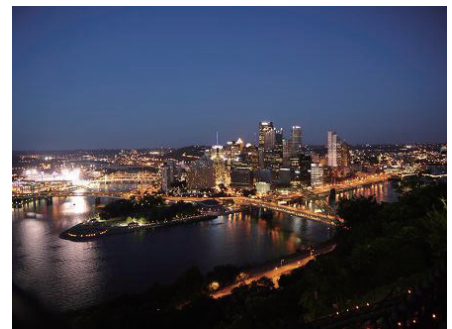
ピッツバーグと言えば、NFLスティーラーズ、MLBパイレーツ、NHLペンギンズ、ハイツ本社、カーネギーメロン大学と、日本でもよく聞くいろいろな名前がすぐに思い浮かびますが、特にピッツバーグが有名なのは、USスチールの本拠地であり、過去鉄鋼の町として栄えたということでしょう。そのUSスチールタワーが、ピッツバーグで最も高いビルディングとしてそびえ立っています。ブルース・ウイリス主演の映画の「スリー・リバーズ(原題:Striking Distance)」で舞台となった場所でもあり、その夜景は非常に美しく、南側の丘から見る夜景や、空港からダウンタウンへ入るトンネルを抜けた直後の夜景は、一見の価値があります。丘のふもとに旧駅舎を利用したショッピング/レストラン街が並ぶステーションスクエアがあり、おみやげ探しや食事によく立ち寄りました。また、このステーションスクエアにはオフィスビルがあり、2008年にANSYS社が買収した旧ANSOFT社の本社もここにあります。



ステーションスクエア
(ハードロックカフェと噴水。土日にはかなり賑わいます)



ピッツバーグダウンタウン



ダウンタウン夜景(丘から見ると絶景です)

3. ANSYS社のオフィス

ANSYS社の本社オフィスは、ピッツバーグから車で約20分のところにあるキャノンズバーグの、見晴らしの良い丘の上にあります。オフィスは黄色い外装の2階建てで、上から見ると「く」の字の形をしています。くの字の両翼がオフィスエリアで、真ん中にミーティングルームや受付が配置されています。受付には解析が適用されたお客さんの製品実物や写真等が、展示されています。ANSYSは解析できる分野が広いため、運送・建築・バイオなどいろいろな業界での適用事例があり、受付を華やかにしています。



船舶用エンジン
(受付にある、古くからの米国のお客さんの製品である船舶用エンジンの展示物です)

4. 巨大なCAE企業へ

現在のANSYS社は、紹介したキャノンズバーグの本社、流体分野のニューハンプシャー州のレバノン、カナダのウォータールー、およびステーションスクエアの旧ANSOFT本社を拠点とし、世界中に開発・販売支社および協力販売会社を持ちます。従業員数2000名以上のCAEに特化したシミュレーション開発会社は、40年間マルチフィジックス・シミュレーションの特長を生かして発展し、現在もその勢いを止めません。今後のさらなる成長に期待してください。



レーザーレーサー
(これも受付にある有名なSpeedo®社の水着です。開発にANSYSの流体解析機能が利用されました)



ANSYS社の本社
(右側はゴルフ場を見下ろす良い休憩場所です)

メカニカルCAE事業部 副事業部長 徳永 祐一

数学と産業技術、そして科学計算



九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 所長 若山 正人

産業数学や数学応用をとりまく国際的・国内的背景

現代社会を牽引する高度テクノロジーを支える科学的知見の、ほぼすべてにおいて、その本質的部分は数学を礎石としています。換言すれば、数学を言語として、さらには研究の指針として用いる科学や技術領域が、かつてないほど広がったと考えるのが妥当です。実際、数学と工学・技術との関係は、以前は物理学を中心とする科学の介在を必要とするものに限定されていました。しかしながら、人類が高性能コンピュータを獲得し、数学と諸科学・技術の直接的な結びつきが飛躍的に高まった今日、数学なくして、科学の進展、科学・技術イノベーションは考えられないというのが国際的な認識です。それは、欧米はもとより東アジアでも近年急速に増加している数学系の研究所設立や、たとえば中国・韓国等における数学への著しい重点投資などにも見られることです。列举すれば、昨年(2011年)創立されたBrown大学「計算実験数学研究所」、また、中国では、数年前に設立された数学系4研究所「数学研究所」「応用数学研究所」「システム数学研究所」「科学技術計算数学研究所」を統合強化のため「数学・システム科学研究院」に改編し、さらに一昨年度は「国家数学・学際科学センター」を新設、韓国でも「国立数理科学研究所」が設立されています。中国の政策は、前者は、純粋研究も応用研究も数学であり分割することは得策ではないという考えを、後者の新設は、現代の科学・技術において数学がいかに欠かせぬものになっているかを示すものと考えてよいでしょう。

このような時代背景の下、すでに数学と産業界の連携では先を進む欧米等を核として、国際的にもさらなる産業数学の振興とそれを担う研究者育成の重要性が明確に指摘されることとなりました。たとえば2008年7月のOECD/Global Science Forumによる“Mathematics in Industry”の報告書公表と提言はその一つです。これを一つの契機として、その後、提言の実現を目指すための国際的活動が、世界の数学コミュニティを中心に積極的に進められています。わが国でも、遅ればせながら漸く、昨年8月19日に閣議決定された『第4期科学技術基本計画』において、領域横断的な科学技術の強化として、数理科学研究の推進がうたわれることになりました。欧米等では普通に見られることですが、国の科学・技術政策の指針となる政府の重要文書「科学技術基本計画」に“数理科学研究”の推進の重要性が盛り込まれたのは初めてです。

研究所概要

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 (Institute of Mathematics for Industry: 略称はIMIです) は、このようななか、産業界の要請を受けた数学の推進と、あるいはそこから刺激を受けて生まれる未来の産業技術を担う新しい数学の最先端研究を行う研究所として、昨年4月に設立されました。国内の数学系研究所としては、統計数理研究所と京都大学数理解析研究所に続くものですが、産業数学を標榜する基礎研究所としては(上述の中国「数学・システム科学研究院」を別に

すれば、アジアにおいても) 最初のものです。

IMIは、所属専任教員のこれまでの研究業績・基盤研究とこれまでの研究活動に着目し、すでに企業等と深く連携し産業数学の研究に従事している「数学テクノロジー先端研究部門」、応用を目的に計算機をも多く利用し理論研究を推進する「応用理論研究部門」、さらに、純粋数学の基盤から広がる応用に強い関心を抱きながら基礎的研究を推進する「基礎理論研究部門」の3部門構成となっています。18世紀のイギリスで始まった産業革命の頃からの短い歴史のみに限ってさえ、数学と数学の応用がなされた歴史を振り返ると、産業界や科学分野からの現時点での要請への対応だけでは、その真の要請には応えられないことが分かります。そのような貴重な応用可能性を広げるためにも、応用・基礎理論研究部門においても、その所属教員の多くは、すでに産業界との共同研究に従事しています。また、上記部門の他、産業界等が直面する数学的な問題の相談に応じるため「技術相談窓口」を設置しました。本年2月には、窓口の充実を図るために、国内外の企業等における研究開発部門で長く活躍し数学活用に豊富な知識と経験を持つ教員を新しく配置する予定です。

ところで数学においても、これまで多く、応用数学・純粋数学という区別がなされてきましたが、本来数学は一つです。純粋数学として研究されてきたものでも、応用されれば応用数学です。逆も然りです。たとえば、セメントの品質安定のための制御解析から出発した赤池情報量規準(AIC)に代表されるように、力強い技術の背後には豊かな数学があります。確率論における伊藤カリキュラスは、金融工学という創始者も予期せぬ方向に展開し、現代社会をグローバルに大きく動かす原動力になりました。数百年もの間、応用を持たないと信じられてきた整数論でさえ、素因数分解の計算困難性に着目し始まった暗号理論の基礎として現代の情報セキュリティに不可欠です。このように、アイデアの発見・定式化以来数十年、場合によっては1世紀以上にわたり、数学的な考察を進め高く改良・発展しながら形成され磨かれていった革新的技術は、普遍性・汎用性に富み、現代社会を根本から支えることになります。IMIでは、このような適用普遍性・汎用性を備え、長く社会の基盤を支えることができるような数学技術の創出を重要な研究目的としています。したがって、産業界や諸科学における実課



題の数学的定式化や、見方や考え方を明確にする数学的事実の記述である「定理」の発見に留まらず、それを、アルゴリズムの構築にまで昇華してゆくことが重要だと考えています。

先述の「AIC」や「情報幾何」のように応用を目的として作られたものと、確率論というそもそもの応用研究分野から出たものの「伊藤カリキュラス」のように予期せぬ応用が見つかったもの、「整数論」のように純粋数学として独自に発展し全く応用を想定していなかったもの、という3つの異なるカテゴリーを踏まえた上で、普遍的な数理技術の構築を重視して学術発展させようとの考え方は、IMIの、別の角度からの理念・性格付けにもなっています。

計算機演算速度の劇的な向上と高度化が進む 科学技術計算

わが国の応用数学は、理学部数学科以外の学部において数学に秀でた物理系・工学系研究者がその発展の大きな一翼を担ってきた歴史があり、80年代までの日本高度成長期の原動力となった科学技術の基礎を支えていました。90年代に入り計算機の演算速度が格段に向上したことに加え小型化が進みました。さらに、90年代のスーパーコンピュータが達成してきたGFLOPSレベルの演算速度は、現在では市販されている安価な1台のPCで実現できるまでに至っています。そのため、90年代以前では(応用)数学(の力)を駆使することなく科学技術のシミュレーションを行うことは困難でしたが、現在ではその計算を現実的な時間と予算で行うことのできる状況に変化してきました。さらに、ハードウェアのみならず、建築、機械、電子部品の設計で使われるCADシステムに見られるように、科学技術計算を行うソフトウェアも高度化の一途です。そのため、高度な(応用)数学を駆使することなく、システムで利用されるパラメータを調整することにより、比較的性能の良いシミュレーション結果が得られる状態となっています。しかしながら、不幸なことと言わざるを得ませんが、2000年以降の科学技術計算で用いられるソフトウェアの多くは海外で開発されており、日本においては科学計算ソフトウェア開発の空洞化が進んでいるのが実態です。このような状態が続くと、ブラックボックスを残したままで、研究を進めることになりかねません。

海外に決定的に遅れる日本の数学理論 ソフトウェアの開発

海外では、30年前頃から大学の数学科が中心となって数学理論ソフトウェアが開発されてきています。たとえば、国際的に定評のある数学理論ソフトウェアの例として、代数計算用のMagma(シドニー大学数学・統計学科)、Maple(ウォータールー大学数学科)、Pari/GP(ボルドー大学数学科)、統計解析用のR(オークランド大学統計学科)、数値解析用のMATLAB(MathWorks社+ミネソタ・スタンフォード大学数学科)、そして、3Dコンピュータグラフィック用途のMaya(Autodesk Research・トロント大学)などがあります。著名な理論物理学者であるウルフラムが数学者とプログラマのチームを率いて作ったMathematica(Wolfram Research)は、プログラミング言語としても強力です。これらの数学理論ソフトウェアは、諸科学分野の大学関係者のみならず産業界の業務でも広く利用されています。さらには、最近になり、幾何ホモロジーの計算ライブラリChomP(ラトガース大学数学科)が発表され、

画像処理、タンパク質構造解析などの分野に応用可能となる新たな発展も見せています。また、アニメ製作・ゲームソフト作成等に利用されている微分幾何学をベースとした離散幾何ソフトウェアj-Reality(ベルリン工科大学数学科)なども、進化が著しい分野です。なお、このソフト開発の中心人物で、現ミュンヘン工科大学のTim Hoffmann教授は、IMI客員教授であり、現在推進中の文部科学省グローバルCOEプログラム「マス・フォア・インダストリー教育研究拠点」の事業推進担当者でもあります。

このような状況下、IMIの研究活動を本格的にかつ直接的に世界に発信するため、新しくマス・コンプ創造ラボ(Creation Laboratory of Mathematics Computation: CLMCと称します)を本年早々に新設する予定です。研究所で発見された数学理論・定理をソフトウェアとして実装し、産業界や研究機関に公開・提供を行うことを目的としたラボです。内容的には、抽象化された数学の理論や定理を、アルゴリズム化し、さらにソフトウェアとして実装し、産業界や諸科学分野における最先端研究現場の使用に資するよう、国際的に公開して行くこととなるでしょう。

CLMCの設立により、IMIは、産業界や諸科学分野からの要請に応えようとする中で新しく生み出される数学の発展とともに、それを、諸科学・産業界へ直接的・具体的に還元・応用する強力な機能を備えることとなります。近年、工学、経済学、生命科学をはじめ、たとえば、自然・人的災害に対する予知、対応、復興に関しても、数学が果たす役割は想像以上に大きいとの国際認識があります。また、数学の理論では、対象の「存在」は証明されているにも関わらず具体的に計算(構成)する手立て(アルゴリズム)がないもの、あるいは、構成的に存在が示されているにも関わらず計算量の多さや複雑さから効率的に例が計算できず理論の発展が進みづらいものや、さらに、応用が明確に期待されているにも関わらず計算が困難なものも多いのが現実です。CLMCが、このような困難を克服する突破口となり、産業界や諸科学領域とIMIとの連携研究・人材(育成)交流が2次元的に面として広がることを願ってやみません。

数学の応用研究：国際比較

1. 日本の遅れ
 文科省科学技術政策研 NISTEP REPORT 2006, 2007
 数学 新領域展開が必要+中核的機関の不足
 企業等開発研究チーム内の数学的基礎を持つ人の割合
 必要度 65% (欧米では実現) → 日本の現状 26%
 与40%を埋める人材育成が急務
 応用こそ基礎 (日本は不足: 弱点) → 基礎研究人材育成

2. 世界はさらに前進: その趨勢
 基礎技術と直結する数学研究推進と人材育成は喫緊の課題
 OECD/Global Science Forum
 Mathematics in Industry 2008.6
 数学研究人材のさらなる育成が必要

H21「数学・数理学と他分野の連携・協力の推進に関する調査・検討
 ～第4期科学技術基本計画の検討に向けて～」⇒政策提言
 九州大学(主管実施機関), 東京大学, 日本数学会, 新日本製鐵(共同実施機関)

マス・フォア・インダストリー研究所
 Institute of Math for Industry (IMI) 開設(2011.4.5)

産業数学研究所設置へ
 アシメトリー人材育成を目指す

IMIの部門構成
 ① 数学テクノロジー先端研究部門
 ② 応用理論研究部門
 ③ 基礎理論研究部門
 ④ 客員部門 (国内外の大学、研究所、産業界から)

企業との共同研究の本格化
 企業・他分野研究者との共同研究も推進
 産業界の研究員としては
 応用に即関する純粋数学の研究者
 産業界から

企業と連携
 博士号取得の
 通知(修士論文)
 博士号取得
 通知(修士論文)
 博士号取得
 通知(修士論文)

企業と連携
 博士号取得の
 通知(修士論文)
 博士号取得
 通知(修士論文)
 博士号取得
 通知(修士論文)

OECD/GSF Mathematics in Industry
 2008 July Report
 産業界の研究機関に貢献
 2008.4 Report on Mechanisms for Promoting Mathematics-in-Industry
 マス・フォア・インダストリー拠点活動が開始

「CAE エンジニアのための数学入門」 講座を担当して



岐阜大学 工学部 数理デザイン工学科 准教授 永井 学志

1. はじめに

「CAEユニバーシティ」にて、設計者や解析技術者（CAEエンジニア）の方を対象とした数学の入門講座を1年ほど前より担当しています。日頃、各種のシミュレーションソフトウェアを活用している中で、これらの基礎となっている有限要素法（FEM）や数値流体力学（CFD）の理論を知りたいと思っておられるCAEエンジニアの方は多いのではないのでしょうか。また、このような理論を独習してみようと書籍を購入したまでは良かったものの、日常業務の忙しさに加えて、理論を記述するためのツールに過ぎない数学に行く手をはばまれ、結局は「積読」状態になっている方も多いと思います。本講座は、このようなCAEエンジニアの方を対象として、FEMやCFDの理論を学習していく上で必要となる数学の考え方や景色を、できるかぎり平易かつイメージ豊かに伝えようとするものです。本稿では、まずこの入門講座を紹介させていただいた上で、この講座を担当していくなかで個人的に感じたことや考えたことについて述べさせていただきたいと思います。

2. 「CAE エンジニアのための数学入門」講座の概要

この講座では、「高校で学んだ数学は一応大丈夫だと思うけれど、大学で学んだ（はずの）数学はちょっと…」というCAEエンジニアの方を対象として、次のような内容を1.5日間で開催しています。

- 第0章 はじめに ～ CAEと数学～
- 第1章 数ベクトル・行列とユークリッド空間の基本事項
- 第2章 1変数関数における微分の考え方
- 第3章 スカラ値関数における微分の考え方
- 第4章 ベクトル値関数における微分の考え方
- 第5章 1変数および多変数における積分の考え方
- 第6章 常微分方程式と偏微分方程式
- 第7章 重み付き残差法と最良近似
- 第8章 連立1次方程式 $Ax=b$
- 第9章 補間と数値積分の概要

当然、わずか1.5日間でお伝えできることには限りがあります。そこで、大学1年次の「線形代数」と「微積分」に対して、苦しめられた記憶あるいは丸暗記で期末試験を何とかクリアした記憶が多少とも残っているというあたりを出発点としています。その上で、CAEにおける具体例を示しつつ、できる限り「見える化」あるいは教養TV番組のような「映像化」を図ることで、全体の景色感や地図を描くようにしています。これにより、各人が記憶の断片群のうちCAEに役立つであろう部分と、新たな知識を一本の串で突き刺して、全体を上手く整理できるようにと努めています（主に第0～2章、および第3、5章の一部）。その他の章については、初めて接する方が多いことを想定して、「要は、そういうことなのね」と感じていただければ、「見える化」に努めています。また、すぐにインター

ネット検索できる現在では、さまざまな知識を階層的に整理して小さくまとめ、それぞれに適切なタグ（キーワード）を与えていくことが重要であろうと思っています。

この数学入門講座を始めるにあたっては、すでに「CAEユニバーシティ」にて実績のあったFEMやCFD関連の講座担当者と、十分な打ち合わせを行っています。大学の数学とは違った、CAEをうまく利用するという視点からの数学です。私自身の専門は、FEMを軸足とした固体や機能性材料に対する数値解析法の開発です。純粋数学者・応用数学者ではなく、著書の冒頭に「私は数学者ではありません」との断りを入れる物理学者ですらありません。大学1年次の数学に「あっぷあっぷ」してしまい、入学した学科が意匠デザインに重きを置く建築学科であったことを「これ幸い」に、「数学や物理とは決別できる」と思っていた不屈な輩に過ぎません。ただ、その後の自身の興味と、出会った諸先生・先輩方のご縁から、数学や物理に多少とも関わらざるを得なくなり、必要に迫られてこれらを独習した経緯があります。FEMやCFD関連の講座担当者の意見を最大限に取り入れつつ、自身が独習時にいろいろと迷った、あるいは勘違いしたことを、皆さまにはできる限り追体験していただきたくないという思いで、全体を構成しています。絵やアニメ、イメージで表現できると判断したものは、文章で代用することなく、講義資料にすべて描き込んだつもりです。図1はその一例です。

いま本務として勤めているのは、岐阜大学工学部の中でも基礎的なことを扱う学科であり、数学者と物理学者に囲まれて日々背伸びをしているような具合です。学科の中で、数学・物理に関してたくさんの恥をさらしつつも、CAEあるいはモノづくりに特化した数学・物理があるだろうと、学科内で無謀にも虚勢を張っています。そういう中で、本講座を担当させていただけることとなったのは有り難いことです。昨今、社会に科学技術を平易に説明するインタープリタ（媒介人）養成の重要性が叫ばれていますが、私も少しだけでもそのような役割りの機会をいただけたことに感謝しています。数学や物理の専門家の話を平易にCAEエンジニアに、逆にCAEエンジニアの視点をこれらの専門家に、伝えていく役割ができればと思っています。数学・物理の専門家でない私だからこそ、CAEエンジニアの方に伝えることのできる数学・物理の景色があるだろうと信じて、本講座の担当を引き受けさせていただいた次第です。

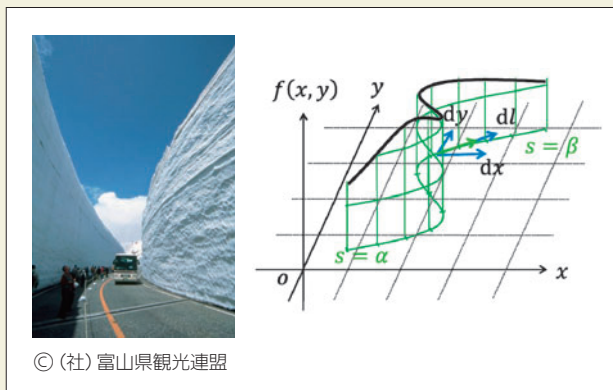
3. 徒然に思うこと

お酒が好きな私は、純エタノール、蒸留酒、醸造酒（ドブクロを含む）それぞれを、数学、物理、工学の比喩に使っています。純粋数学者は、不純物を排してひたすらエタノール純度を高めようと、どのような横槍にも耐えうる数学理論の構築を目指しがちです。その結果、恐ろしいほどの切れ味の厳密かつ素晴らしい理論体系ができあがります。しかし、そのように完全武装した数学の理論体系は、果たして一般人にとって親し

みやすく味わいのあるものでしょうか。お酒にもいろいろあるように、CAEあるいはモノづくりに携わる人々が接しやすい形の数学があるのではないのでしょうか。

ある物理数学の復刻教科書¹⁾の序文に、「西洋の教会建築を正面から眺めあげると、人間の所作に思えない冷徹さを感じる。しかし、その建築中の裏側に思いを馳せると、日々の熱い試行錯誤の営みがある。その泥臭い営みこそが愛おしくて面白い。」という趣旨の記述がありました。それを読んだ瞬間、真っ先に思い浮かんだのが、スペインのサグラダ・ファミリア教会(アントニ・ガウディ作)です。ガウディ没後85年が経とうとするのに、未だに完成しない教会です。ほとんどの皆さまは完成した視点からの威厳ある写真しかご存知ないと思います。ところが、10年近く前に私の友人(福井大学 桑水流 理准教授)が、学会の合間に立ち寄ったサグラダ・ファミリア教会の工事現場を写真に収めてきたのです(図2)。本体の構造は組石造でなく、何のことはない普通の鉄筋コンクリート造でした。それまでとても恐れ多く感じていたものが一気に崩壊し、ごくごく身近なものに感じられた瞬間でした。厳密な数学の理論も、このような生身の人間がいる工事現場の視点から学ぶことができれば、とても親しみやすくなると思います。

相変わらず大学の教養数学、すなわち「線形代数」と「微積分」では、純粋数学を志向する先生方がこれらの講義を担当していることが多いようです。このような先生方に、工学あ



© (社) 富山県観光連盟

図1 「見える化」の一例(線積分とそのイメージ)



図2 サグラダ・ファミリア教会の工事現場
(撮影: 福井大学 桑水流 理准教授)

るいはモノづくりへの応用の具体例を挙げつつ講義を構成してください、とはお願いしづらいものがあります。確かに数学はありとあらゆる応用の基礎であるため、将来の職業への思いが未分化である理工系学生さんにとっては、教育の効率性という観点から、その共通項のみを淡々と教えるのが一番でしょう。しかし、工学系、特に昨今のCAEのすそ野の広がりに注目したとき、そのような応用に特化したドブコクの数学があっても良いように感じています。また最近、教養数学の単位を楽にするための指南書が溢れていることから、学生さんを取り巻く環境は一見良くなっているような感もあります。しかし、これらはその場しのぎであり、将来の職業へとつながる応用を示しているものではありません。いずれにせよ、大学教育の現場では教養数学と、後続する工学系科目には大きな断絶が残ったままです。もっと工学に特化した、すなわち物理現象の数理モデル化をにらんだ、要点を押さえた物理数学があっても良いのではないのでしょうか。その上で、厳密性に欠けると感じた方がいれば、そこで初めて純粋数学を志向すれば良いように思います。

またその一方で、機械系の基礎である「材料力学」や、固体を対象とした「連続体力学」の教科書をパラパラめくると、工学系のほうも数学の導入手順を考えると、数学公式のみを丸暗記したような記述が散見されます。一例として、ある点 $x=x$ (あえてそのまま書いています)における応力を $\sigma(x)$ としたとき、そこから Δx だけ離れた点 $x=x+\Delta x$ の応力を $\sigma(x+\Delta x)$ とするのではなく、いきなり $\sigma(x)+(d\sigma/dx)\Delta x$ と、 $x=x$ まわりでテーラー展開した1次近似の結果のみを書いている教科書が多くあります。材料力学ではその歴史的経緯からそのような意図も分からなくもありませんが、現在の初学者には表記法を含めて数学とのスムーズな連携を取るべきであると感じています。

最後に、工学系に役立つ数学入門の自習書として、いつも真っ先にお薦めしている一冊があります。それは、薩摩順吉先生の「物理の数学」²⁾です。物理への応用を明確に意図したものであるため、CAEという視点からは過不足もありますが、道具としての数学を俯瞰するには非常に適した本です。また、ギルバート・ストラング先生の配信ビデオ³⁾を視聴すると、これぞ工学系のための数学という感じがします。両先生のようなスタイルの数学がもっと広がると良いなと思っています。

4. おわりに

「CAEエンジニアのための数学入門」講座を担当したことがきっかけとなり、工学系、特にCAEに適した形の数学についてよく考えるようになりました。同時に、大学における将来を見越した数学教育も気にかかるようになってきました。教育に携わる者として、モノづくりやCAEの世界に少しでも貢献していきたいと考えております。

参考文献

- 1) 大森英樹, 力学的な微分幾何 新装版, 日本評論社, 2010
- 2) 薩摩順吉, 物理の数学, 岩波書店, 1995
- 3) <http://academicearth.org/courses/linear-algebra>

CAEユニバーシティに
ついてのお問い合わせは

CAEエンジニアのための技術教育 サイバネットシステム株式会社 CAEユニバーシティ事務局

TEL 03-5297-3692 (平日9:00 ~ 17:30)

E-mail <mailto:info@cae-univ.com>

★CAEユニバーシティの詳細/スケジュールの閲覧、申し込みはWebにて

URL: <http://www.cae-univ.com> ※「CAEユニバーシティ」と検索下さい。

CG を豊かにする数学



株式会社
オー・エル・エム・デジタル
研究開発部門ビジュアルエフェクト/
R&Dスーパーバイザー
安生 健一 氏

今回の「見える化技術」のコーナーは、多くの数学知識を駆使して映像表現を進化させているというコンピュータグラフィックスの世界に着目し、「ポケットモンスター」などのアニメから「十三人の刺客」といった実写映画のVFXまで幅広く手がけている株式会社オー・エル・エム・デジタル（以下、OLMデジタルと略）を訪問しました。お話を伺ったのは安生健一取締役です。同氏は、CG制作の専門家であると同時に、九州大学で客員教授も務めておられる企業内の数学者です。

まず、コンピュータグラフィックス（以下、「CG」と記述）の関わりというか、CGに携わるようになった経緯についてお聞かせ願えますか？

CGの歴史は、アイバン・サザーランドが1962年に作った「スケッチパッド」の開発から始まったと言われています。このシステムは、コンピュータ画面にライトペンで三角形を描いた単純なものです。CGにおいて今もお重要な2つの基本要素が、すでに含まれています。それからわずか20年後の1980年代にはコンピュータで1600万色を表示できるディスプレイが開発され、いよいよ高精細カラー描画が可能になり、CGの技術開発が進展していきました。私は1982年に日立製作所に入社しましたが、丁度そのころIBMワトソン研究所にいたマンデルブロ等の研究グループが自己相似性（フラクタル）を利用して、月面の複雑な凹凸やクレーターをCGで作成しました。たまたま新聞でその画像を見た上司が、当時は機械製品などのCADの描画確認イメージでしかなかったCGでも、自然物形状のような非常に複雑な対象までも表現できるらしいからやってみようと言い出し、理論的には数学と関係が深そうだということで数学専攻だった私に、その研究課題が回ってきたというわけです。『フラクタル・ジオメトリ・オヴ・ネイチャー』という本をばらばらめくりながら、コンピュータでの表現方法をいろいろ試行錯誤したことを思い出しますね。

現在は、どのようなCG分野の研究をしておられるのですか？

CREST（戦略的創造研究推進事業）で「デジタル映像数学の構築と表現技術の革新（研究領域：数学と諸分野の共同による

ブレイクスルーの探索）」というテーマで、数学者とCG研究者による共同研究を推進中です。表示対象は、特に人間と流体現象にフォーカスしており、CGの中でも物理シミュレーションではうまくいかないものを、数学を使って解決できないかと考えています。数学と映像の世界を橋渡しする翻訳者。それが、今の私の役割ですね。

たとえば、アニメや映画の監督がある演出効果を意図して、「この煙はこんな形でこんな風に動かしたい」という場合、それが現実の物理現象としてはありえない形状や動きであることもあります。CGはシミュレーションではなくあくまで映像としての「効果」なんです。このような場合に、もちろん自然科学の知識も使いますが、数学の力も借りて演出意図を実現しようとしているわけです。

また、人間を表示対象として扱う場合、顔の表情のCGは物理法則を利用するやり方ではできません。なぜなら、人間の意志や個性も踏まえた表現が必要になるからで、物理シミュレーションに代わる数学的なモデルが必要になります。手始めに、既知のアニメーションデータを学習してそれをモデル化して（学習理論）、こういう場合はこういう表情になるのでは？という推測が成り立つ数学的枠組みを研究しています。

他にも、人間の視覚認知の仕組みを考慮したCG表現形式のような、これまで物理などの自然現象に関するサイエンスでは扱っていなかった対象を、数学を使ってモデル化したいと考えています。たとえば、ある表情のCGができたとして。「お、これは前のよりいいね！」。しかし、何をもち前のものより良いと感じるのか？なぜ？どこが良いのか？このような疑問に対して、数学を使い数値的に分析して説明できるようになるかもしれません。まあ、感情と表現の空間があって、その「場」に適用できる何かうまいパラメータを発見できるとか、究極的には何らかの相関式が立てられるとか、そこまで行けばいいのですが、別にそこまで行かなくても、感情と表現の相関に数学的な意味付けができるだけでも大きな意義があります。その意味付けされた概念を数学の世界で発展させることができるようになるからです。

このようなどころまで実現できれば、従来無かった数学の一分野ができる可能性がある。数学というのは、一旦、数学的概念として把握できれば、そこからある程度広げていくことができますからね。そうなれば、数学分野で発展した知見は再

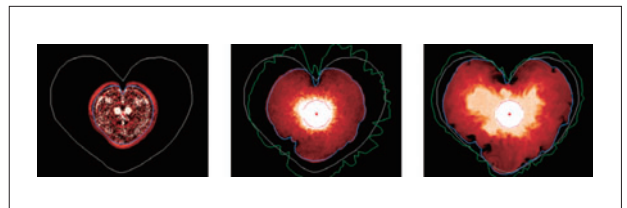


図1 爆発の演出的なシミュレーション
外形がハート型になるような演出効果を出しつつ、炎の動きには物理シミュレーションを使い本物らしく動かす

びCG側にフィードバックされて、CGの世界をさらに豊かにするという好循環ができると思うのです。

実は私は「映像数学」みたいなものをイメージして、そんな数学分野ができることを夢見ています。今のところ、数学の力をいろいろと借りてCGを作っていますが、CGの世界から数学への恩返しはできていません。今は借りる一方なんです。ですから、そんな分野が今後出現すれば、CGという全く新しい人類の知見から、長大な歴史を持つ学問分野である数学に、何らかの貢献ができるのではないかと夢想しているわけです。

ところで、どんな数学の知識がCGには使われているのですか？

他の分野と同様、線形性という考え方は非常にベーシックです。たとえば、顔をメッシュに切ってその頂点列に順番をつけ、ベクトルを作る。これはものすごく長いベクトルになります。その一ベクトルが一つの表情に対応するわけです。そして、大笑いした顔と普通の顔をこのベクトルで作って、その間を線形補間すると、その途中にあたるようなニヤリと笑った顔もできるはずですよ。これは、ブレンドシェイプと言われる手法なのですが、このような「顔」ベクトルを用いた線形モデルを利用しています。ただし、取っかかりの概念として線形性から入っているわけで、そこにどのような非線形な要素を組み込むかはまだまだ試行錯誤している段階です。

誰かの顔の表情を別人や全く違うタイプのキャラクターに移す数学モデルも、研究しています。直接表立った形では出てこないのですが、用いられる数学には、関数解析学的なアプローチがあります。あるキャラクターから別のキャラクターへ、ある表情を「移植」したいと考えたとき、まず基本となる表情からの表情の変化量を計算します。顔の時間的な変化の仕方は、キャラクターが変わっても似ているはず。そこでそれら変化量は大体同じである、というのを定式化するのに微分やノルムといった概念を使いました。多数のキャラクターを扱う制作現場では、この技術だけでもCG作成作業が大幅に省力化されます。

ところで、人間のCG研究というと、エンターテインメントにだけに利用されると思われがちなのですが、実はそうでもありません。私はときどきCG制作の相談を受けますが、洗髪直後の濡れた髪と乾かした後のふんわりサラサラな髪の違いを比較できるようなCGを作ってほしい、という依頼を受けた

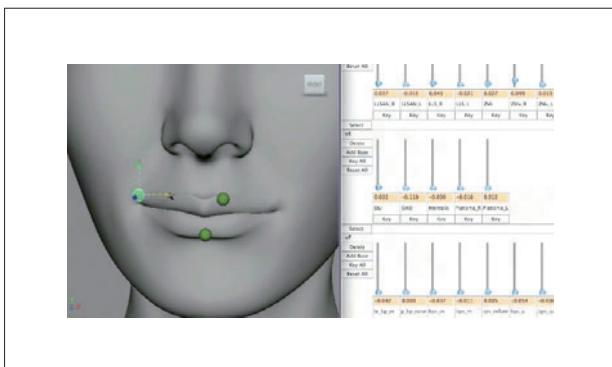


図2 ブレンドシェイプのための直接操作法
顔への直接操作により、多数のパラメータ推定を可能にする

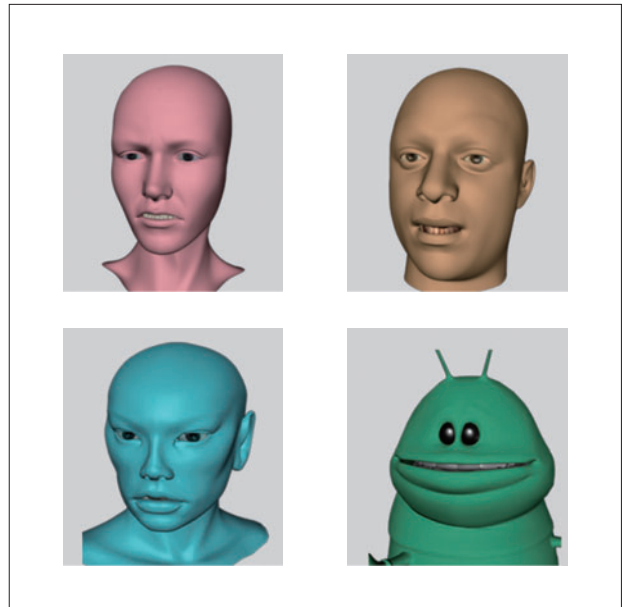


図3 表情の移植

あるモデルの表情アニメーション(図の上の左端)を様々なモデル(左端以外の3体)に移植し、かつ編集も可能にする

ことができます。つまり、人間のCG表現を介して、商品の価値や性能を評価したり、商品やサービスの魅力をよりわかりやすく伝えるといったことが可能になります。

20世紀は物理学の世紀だったが、21世紀は数学の世紀になるだろうという予言(?)もあるようですが、これからの産業社会と数学の関わりについてお考えを聞かせてください。

これは日本だけの現象かもしれませんが、大学の数学科で教えられるような数学、いわゆる純粋数学と、工学部などで使われる応用数学があまりに二極化されていて、その間をつなぐ数学がまるで無いという印象があります。アメリカなどでは、バリバリの純粋数学と応用数学の間に、コンピュータ数学あり、数値解析の数学ありといろいろな数学に携わる研究者が層を成しており、その全てが「数学者」であるという広い捉え方が一般的であるように思います。幅広い層があるということは単純に数学に携わっている人が多いということでもあり、それだけでも羨ましいですが、まあ、だからということではなく、アメリカの方が、数学が日本より社会に対しオープンに開かれている気がします。

ガウスの時代などはそうだったと思うのですが、数学はそもそも、まず社会の中に解決すべき問題があって、それを数学的思考で解決していく過程で、ある数式や定理/公理や、さらに大きくは数学の分野が生まれてくるというのが自然の姿のほうです。つまり、数学が役に立ったから数学の新しい概念や分野が生まれる。それが一番自然な流れだし、社会の中で数学が生きているという証しでもあると思うんです。21世紀が数学の世紀になると言うなら、社会の中に生き生きと存在していた数学の姿を取り戻したいですね。「一部の人がやっているものすごく難しそうなおこと。でも、現実には何の役に立つのかはよくわからない」という、数学に対する一般的イメージを覆すような、数学の新しい姿を追求していきたいと思っています。

企業の未来を切り開くイノベーション支援ツール『Invention Machine Goldfire』

コラボレーション機能が強化された日本語最新バージョン 6.6J が遂に登場！

Invention Machine Goldfireは、ものづくりの現場におけるさまざまな問題を適切に分析し、解決策を効率よく調査・創出するための環境を提供します。

「知識情報」と「問題解決」、そして「人」

2011年10月にリリースされた新バージョン6.6Jには、コラボレーションを促進するための新機能が追加されました。これにより、「知識情報」の活用や適切な「問題解決」支援といった従来の特長に加え、知識の源泉である「人」同士の連携が可能な「イノベーション・プラットフォーム」として進化しました。

ここではGoldfire 6.6Jの主な新機能をご紹介します。



問題共有※

社内で問題を共有し、オンライン上で議論を進めながら課題に取り組んでいくための機能です。

たとえば、「モーターの熱対策に関する過去の社内事例は？」等の質問文を図1のように入力すると、その質問は社内のGoldfireユーザが直ちに参照できるようになり、オンライン掲示板を利用するような感覚で情報を集め、議論を進めながら課題解決を進めていくことができます。Goldfireユーザ以外の関係者にも、質問をeメールで送信することが可能です。

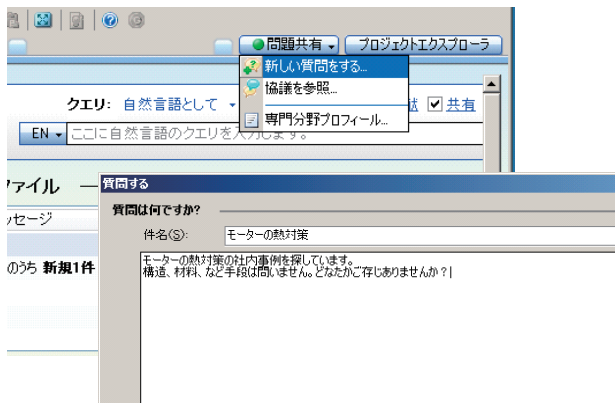


図1 「問題共有」のメニューおよび質問入力画面

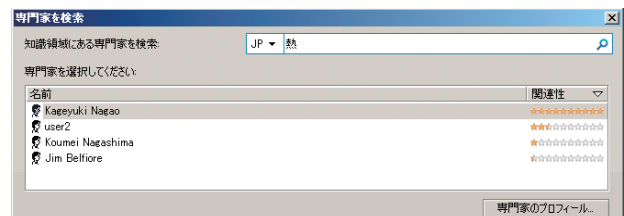
また、「問題共有」機能を使った議論の内容は、自動的に意味検索できる知識ベースとして記録されるので、検索可能な社内知見として共有/再利用が可能です。

専門家を検索※

問題を共有するだけでなく、社内に存在する特定の技術分野の専門家に積極的に働きかけることで、課題解決の促進を支援するための機能です。

たとえば、「モーターの熱対策」や「熱」などを入力すると、Goldfireを利用した過去のプロジェクトや上述の「問題共有」のディスカッション、または事前に登録された専門分野プロフィールなどを分析した結果から、その技術に詳しい専門家を予測しランキング形式で表示します。

また、そのように探した専門家を「問題共有」の議論に追加したり、直接メールで質問したりすることも可能です。



「専門家を検索」のメニュー表示

その他、ユーザビリティ向上や社内知識情報活用のための機能が今回の新バージョンでは拡充されています。

※社内Goldfireサーバー構成で有効な機能です。

Invention Machine Goldfireについて

Goldfireは、世界中で1500社以上の企業で導入された実績を持ち、さまざまなイノベーションを支援してきました。

Goldfire 顧客事例

企業	Goldfireで実現したイノベーション概要
ロイヤル・ダッチ・シェル社	「海藻」を利用した次世代バイオ燃料を商用レベルで開発する。
ドイツの自動車部品メーカー	メカニカルバルブの性能向上と、コスト削減を両立する設計案を見出す。
スタイルハイドロ社	大掛かりな原油輸送用パイプラインのメンテナンス手法を簡易化する。

Goldfireを利用して持続的にイノベーションを実現している企業の事例詳細やインタビューなどを、製品WEBサイトでご覧いただけます。新バージョンの機能詳細と併せて、Goldfireの支援するイノベーションを是非ご覧ください。
<http://www.cybernet.co.jp/inventionmachine/>

お問い合わせ

アドバンスドソリューション事業部
 イノベーションソリューション室
 TEL 03-5297-3269
 E-mail Goldfire-info@cybernet.co.jp

AVS/Express バージョン 8 (国内開発) リリース

AVS/Express (以下AVS) は、サイバネットシステム^株と米国AVS社の共同で開発を進めている可視化ソフトウェアです。今回、日本ユーザの声を反映した大規模なバージョンアップを国内で実施しましたので、その内容を紹介합니다。

1. 大規模データの可視化

(1) 高速等値面表示

従来の等値面よりメモリ消費量が少ないポイント表示で等値面を表現する機能を実装しました。構造格子(差分法)の場合、従来に比べ速度は約50倍(114sec.vs.2sec)、メモリ消費量は約1/2になりました。8GBメモリのPCで8億格子の可視化可能です。

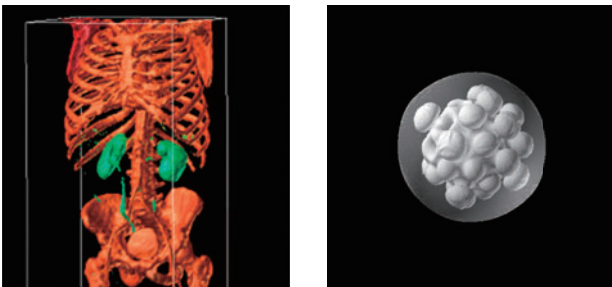


ポリゴン数：約5100万△
格子数：768×1024×1024

「高レイノルズ数チャネル乱流の可視化」
(データ提供：東京理科大 電子応用工学科 佐竹様)

(2) 等値面セグメンテーション

等値面を塊単位に分離できます。医療用CTデータからの部位抽出や、二重になった等値面の表示に応用できます。

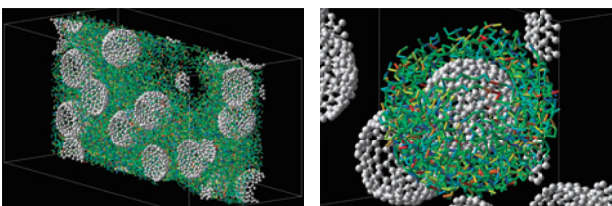


左：医療用CT画像から臓器抽出 右：「レーザー核融合の3次元爆縮におけるレイリー・テイラー不安定性による燃料球の変形」
(データ提供：核融合研究所 坂上様)

※ 同じレベルの等値面が2重になる場合、従来は、右図のように中の構造を見ることができませんでした。

(3) シェーダを使った球、および、抽出機能

粒子法や分子動力学など、球を使った可視化ユーザのためにデータの抽出機能やシェーダを使った球を実装しました。高速になるとともに、立体視装置へ対応できるようになりました。



「タイヤゴム材料の粗視化MDシミュレーション」
(データ提供：防衛大学校 萩田様)

2. 入出力機能

次の入出力機能が追加されました。

- 医療データの標準であるDICOMデータ読み込み
- GoogleEarthへ出力するKML出力
- 3次元プリンタ向けにSTL出力

DICOM読み込み、画像処理、先述の等値面セグメンテーション、STL/ボリューム出力の組合せで粒子法や六面体格子の大規模計算用ブリプロセッサとしても利用できます。

3. 企業・研究所連携

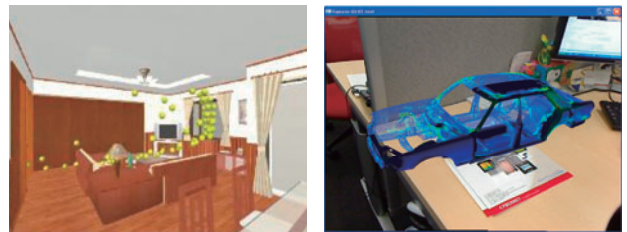
その他、パートナー企業や研究所と連携して、3つの機能を追加しています。

(1) リアルタイム3次元合成：フィアラックス^株

プレゼンテーション用の画像生成のために、計算結果にCADデータを追加する場合、従来はデータ変換をしていましたが、リアルタイム3次元合成機能は、データ変換無しで、直接、3次元の表示をAVSに取り込みます。

(2) 拡張現実感(AR) (別売)：独Metaio社

AVSの可視化結果を机の上や掌に載せることができます。オープンキャンパス、研究室公開に最適です。



左：流線に建築CADの合成 右：車をカタログの上に(ARによる実写とCGの合成)

(3) 3次元ノイズ除去(別売)：理研 Smoother

理化学研究所で開発した3次元画像処理ライブラリ“Smoother”をモジュールとして組み込みました。

細胞や生物の研究(共焦点レーザー顕微鏡のノイズ除去)に適しています。

4. その他

その他、東北大学金属材料研究所殿向けに開発したCCMSライブラリ：TOMBO, GAUSSIAN, VASPの計算結果を読みボール&スティックや電荷表示ができる、など全国研究者の要望に応じてきた数々の機能が実装されています。詳しくは

<http://www.cybernet.co.jp/avs/products/avsexpress/v8.html>を参照ください。

お問い合わせ

ビジュアル化ソリューション部

TEL 03-5297-3799

E-mail avs-info@cybernet.co.jp

「サイバネットクラウドサービス」の提供開始

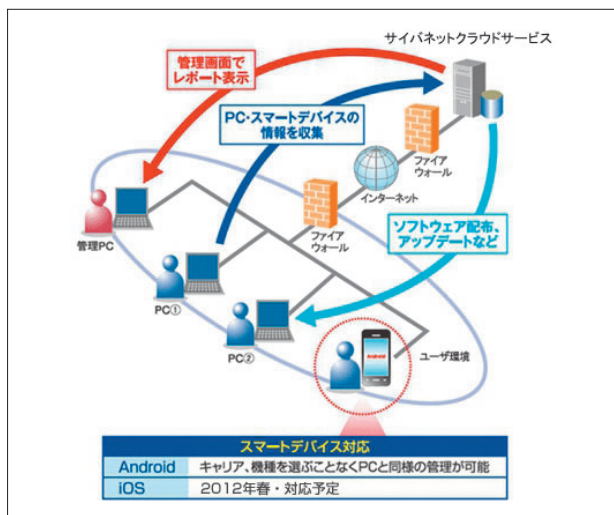
～第一弾は、「PC&モバイル管理サービス」～

企業活動に欠かせない存在となったクライアント端末。近年スマートフォンやタブレット端末の台頭により、企業が管理すべきクライアントはモバイル端末も対象となり、その数は年々増え続け、管理者の業務負荷が大きくなっています。

そこでご紹介したいのが、サイバネットクラウドサービスの「PC&モバイル管理サービス」。PCはもちろん、スマートフォンやタブレットなどのモバイル端末の資産管理やセキュリティ対策の機能をクラウドで提供いたします。

PC&モバイル管理サービスとは

PC & モバイル端末を統合管理するクラウドサービス。PCだけでなく、モバイル端末管理に必要なリモート制御や利用アプリの制限の機能を提供いたします。さらにオプションで、セキュリティ対策をより強固にする、PC向け「シマンテック・セキュリティ対策」を提供しております。



主な機能

- Windows Update 更新支援
- 禁止ソフトウェアの検出&起動制御
- ライセンス管理レポート/資産検索
- リモート操作 (ロック・出荷時状態へのリセットなど)

サイバネットクラウドサービス 3つの特長

統合管理

- PC & モバイル端末のセキュリティ対策と資産を同一コンソールで管理
- 各拠点やグループ企業のPCも一元管理が可能

サポート

- 各種認定資格を取得した実績豊富なサポート担当者がクライアント管理をサポート
- Webサポートシステム「テクさぼ」の提供

低コスト

- 専用設備が不要なので、導入・運用管理コストを軽減
- システムの運用管理はサイバネットにおまかせなのでシステム管理者の方の管理工数を軽減
- クライアントの合計数に応じて1台あたりの料金が安くなる「ボリュームディスカウント」をご提供

最後に

サイバネットクラウドサービスは、1クライアントあたり月額500円から提供しています。本サービスは今後、企業のクライアント管理を支援するサービスを順次提供していく予定です。

お問い合わせ

IT事業部 営業部

TEL 03-5297-3487

E-mail itdsales@cybernet.co.jp

URL: <http://www.cybernet.co.jp/saas/>

eラーニングお試しサイト開設 (無料)

e-CAE University ものづくりのための、ひとつづくり



サイバネットシステムでは、エンジニアの皆様の利便性を追求し、場所・時間選ばず学びたいときに学べる、e-learning 専門のe-CAE Universityを開設いたしました。

これまでの企業様向け e-learning コンテンツ作成経験と、CAE専門企業としてのノウハウを結集し、エンジニアの皆様役に役立つ内容をWebにてご提供します。

無料お試し版

ご利用期間：2011/11/24～2012/02/28

CAEを理解しているかを問う20問] 計算力学講座

計算力学技術認定2級 (固体力学) レベル

(社内教育にもお奨め！)



お問い合わせ

CAEユニバーシティ事務局

TEL 03-5297-3692

E-mail e-cae-univ@cybernet.co.jp

数学関連の書籍いろいろ

数学…。本当に苦手でした。高校になったときは、もう、かなりお手上げ状態でした。特に、確率、数列、積分などなど。数学があまりにもできなかつたため国立大学は受験できず、事実上、進学の道も限られてしまいました。正直、イヤな思い出しかありません。

さて、数学=逃げるといふ等式を維持して生きてきて十一年。今になって何だかこの世に思い残すことがある感じなのです。このまま年を重ね、結局「数学ができないヒト」として死んでいくのか…。そう思うと、何だか悲しいし、ちょっと悔しい。

と、最近、そういう方々が増えているのか、“やり直し系”書籍(=広く、せめて高校くらいまでのお勉強はやり直そうよ、というコンセプトで作られた書籍。今たくさん出版されています)業界では、数学関連モノが活況を呈しているようです。数学アレルギーさん/苦手さんはかくも世に多いのですよね。

ああ、病気のように薬を飲んで治るものなら、数学嫌いを治したい。しかし、数学ができるようになるには、何といつても自力で問題を解いたりせにゃならん。病気で言えば、自己免疫しか発動できないようなもの。努力が必要です。うーん。

それにしても、何で数学というのはあんなに難しいのか!? それに、あんな風にしか教えられないのか!? もっと、実際の役に立つということを見せながら教えることはできないのでしょうか。何かを設計しながら、あるいは作りながら、とか。その過程で、数学が無いとこういうふうになるんだよ。というところを見せて欲しい。数学の威力を! そうしたら、少しは頑張ろうという気にもなるのでは? そういう工夫も無く、ただ問題をむやみに解かせるだけだから、「数学なんてできなくても、別に困らないし」などと考えて、学校数学からさえ簡単にドロップアウトする私のようなヒットビトが出てきてしまうのじゃ。と、いくら怒っても始まりませんね。とりあえず今回のレビューでは、数学関係の書籍を集めてみました。

中経出版刊『忘れてしまった高校の数学を復習する本』(柳谷 晃著)、『忘れてしまった高校の微分積分を復習する本』(浅見 尚著) 姉妹本です。「高校のときに理解できなかった人、これから趣味で数学をやってみたい人、大学生も社会人も、数学を全く忘れてしまった人でも楽しくやり直せる」とのことです。この辺りが基礎的なところでしょうか。あと、『高校数学がまるごとわかる』(間地秀三著 ベレ出版刊)という本も出ています。やってみようかしらん。

『本質がつかめる数学』(長岡亮介著 旺文社刊)というシリーズも、数ⅠAから数ⅡB、数ⅢCまで出ています。何だかタイトルに惹かれますね。掘みたいです、数学の本質。

お楽しみを兼ねて、という方には、本格的な内容なのにストーリー性にも優れ、そのためかこの種の書籍としてはとっても良く売れて評判になった『数学ガール』シリーズ(I~IV)を。ゲーデルの不完全性定理の解説まであります。今、確か、コミック版も出ていたような…。学園コメディの枠組みの中で数学理論を学ば仕組みですが、中身はかなり難しく、個人的には、このシリーズを読み通すには数学とアルゴリズムについてある程度の知識が要る気がします。まあ、登場人物の恋愛模様など脇筋とキャラも楽しめますので、数学理論は置いてそちらにフォーカスするのも悪くないかな、と…。

『数学をつくった人びと』(I~III)。人類史の中でキラ星の如く輝く頭のいい人たち、オンパレードです。何せ、“数学を作った”人々です。もう、憧れです。こちらも内容はかなり歯応えあり(ただ、訳があまりこねられておらず、それがやや残念です)。ほぼ伝記部分しか理解できませんでした。業績解説の箇所はお手上げです。Vol.1でニュートンを評したライブニッツの言葉に仰天!「古代から現在(17世紀)までの全数学のうち、半分くらいはニュートンの作ったものだ」。どこまで偉大なんだ、ニュートン!(因みに、3大数学者とは、アルキメデス、ニュートン、ガウスだそうです。4番目は、オイラーというのが定説のようです)。

以上、お好みに合わせて読んでみても良いかと。最後にすでに古典ですが、岩波書店刊、遠山 啓著『数学入門』から、はしがきの遠山先生のお言葉を。「20世紀後半の世界に活動する日本人に必要な数学として、私は一応、微分方程式までという線を引いてみた」。び、微分方程式まで要るんだ!?

がーん!! 道は遠い…。



『数学ガール/ゲーデルの不完全性定理』
結城 浩(著)
ソフトバンククリエイティブ
(2009/10/27)



『数学をつくった人びと (vol.1)』
E.T.ベル(著)(田中 勇/銀林 浩 訳)
早川書房ハヤカワ文庫NF
(2003/09)

高さ 22m
直径 26cm
1 2 3 4 5 6 0.1

85.09kgのCO₂削減量とは
樹齢50年(高さ22m・直径26cm)の
杉の木約6.1本分が1年間に吸収する
CO₂量に匹敵します。
(出典: 林業白書)

この冊子は、サイバネットシステム株式会社が印刷プロセスで使用する9.33kgのアルミ板をリユースして印刷する事で、
CO₂排出量を85.09kg削減しました。

MCP 003
環境省 資源循環局 印刷局

当CO₂削減認証は株式会社日本スマートエナジー社がこの印刷システムを厳格・公正に審査・確認して与えられたものです。

● サイバネットニュース定期送付、Web掲載時のメール連絡は
随時受け付けております。是非お申し込みください。
https://www.cybernet.co.jp/forms/cybernet_news/

お問い合わせ
サイバネットシステム株式会社 事業企画開発部
TEL. 03-5297-3608
E-mail cybernet-products@cybernet.co.jp

発行元: サイバネットシステム株式会社

東京本社 〒101-0022 東京都千代田区神田練堀町3 富士ソフトビル
西日本支社 〒540-0028 大阪市中央区常盤町1丁目3番8号 中央大通FNビル
中部支社 〒460-0003 名古屋市中区錦1丁目6番26号 富士ソフトビル
URL: http://www.cybernet.co.jp/products/magazine/cybernet_news/

TEL.03-5297-3010 (代表) FAX.03-5297-3609
TEL.06-6940-3600 (代表) FAX.06-6940-3601
TEL.052-219-5900 (代表) FAX.052-219-5970

※会社名、製品名、サービス名は、各社の商標または登録商標です。